

ghidul cosmosului

1028



ion corvin sîngeorzan • i. m. ştefan

ghidul cosmosului



«Nu este oare straniu, scria Camille Flammarion, că locuitorii planetei noastre au trăit aproape toți pînă acum fără să știe unde se află și fără să-și dea seama ce lucruri extraordinare cuprinde Universul?» Ghidul de față schițează drumul anevoios, întortocheat, dar profund creator pe care omul a pășit spre a ajunge de la străvechile mituri antice la imaginea actuală a lumii, descrie și definește elementele acestei imagini, cunoscutele ca și enigmele ei turburătoare. Sînt înfățișate, pe baza celor mai noi date ale cunoașterii, structura, fenomenele și procesele caracteristice sistemului nostru solar, apoi ale Galaxiei din care acesta face parte, în sfîrșit ale «coloniilor de lumi pierdute» ale Metagalaxiei. O atenție deosebită este acordată modelelor propuse pentru elucidarea structurii Universului, teoriilor privind evoluția sa, influențelor cosmice asupra Pămîntului și a ființei gînditoare care-l populează. Un «minighid» de astronomie practică și un glosar încheie această lucrare, menită să informeze și să orienteze pe cei interesați să afle cum e alcătuit Universul și să-și formeze o concepție limpede, rațională asupra sa.

I. M. ȘTEFAN

ghidul cosmosului



cultură generală



Vol. I—II, lei 10

editura minerva







Ilustrațiile copertei, pagina I: *Pământul fotografiat de pe Lună*; pagina II: *Planeta Jupiter fotografiată în martie 1979 de sonda spațială Voyager 1*; pagina III: *Satelitul Phoebe, cu un imens crater, așa cum a apărut pe o imagine realizată din apropierea sa.*

Schițele sînt executate de *Marian Ștefan Iroaie*

Ion corvin sîngeorzan •
i. m. ştefan

ghidul cosmosului



BIBLIOTECA PENTRU TOȚI • 1980

EDITURA MINERVA • BUCUREȘTI.

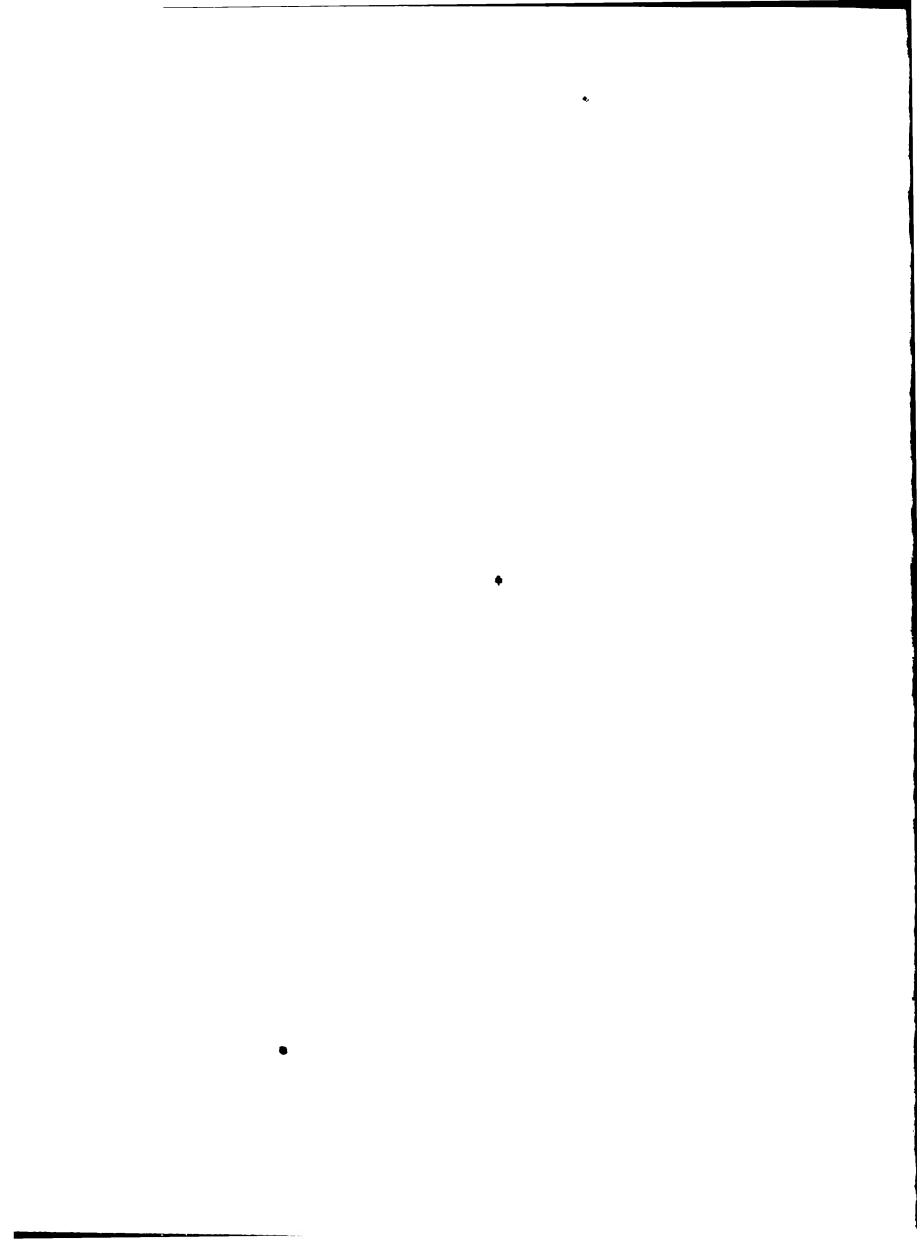
Pentru prezentul volum toate drepturile rezervate
Editurii Minerva („B.P.T.“)

NOTĂ

Capitolele: *Cheile lumii*, *Cosmosul apropiat* și *Galaxia (Generalități)* au fost elaborate de I. M. Ștefan.
Capitolele: *Galaxia* (continuare), *Metagalaxia*, *Idei cosmologice* și *Minighid de astronomie practică* au fost elaborate de Ion Corvin Singeorzan. Concepția de ansamblu a lucrării aparține ambilor autori, ca și bibliografiile

*...colonii de lumi pierdute'
Vin din sure văi de chaos pe cărări necunoscute
Și în roiuri luminoase izvorînd din infinit,
Sunt atrase în viață de un dor nemărginit.
Iar în lumina asta mare, noi copii ai lumii mici,
Facem pe pămîntul nostru mușunoaie de furnici...*

M. EMINESCU



I. CHEILE LUMII

1. Imaginea Universului

Un mare fizician francez, Jean Perrin, scria: „Cît de slabă este lumina care vine pînă la noi de la stele. Dar fără ea, cu cît mai rudimentară ar fi fost astăzi mintea omenască!“

Un ghid al Cosmosului este dator cel puțin să schițeze calea, anevoioasă, întortocheată, dar profund creatoare, pe care omul a pășit pentru a ajunge la actuala imagine a Universului, în cuprinsul căruia autorii lucrării de față își propun să călăuzească pe cititor. În fața măreței porți a lumii, făptura umană s-a înfățișat, de-a lungul mileniilor, cu chei mereu mai perfecționate, care i-au îngăduit deschideri tot mai largi spre adevăr, o înțelegere tot mai profundă, tot mai exactă, a structurii Cosmosului din care face parte. Nici astăzi cheile nu sînt desăvîrșite, nici astăzi înțelegerea structurii cosmice nu e deplină. Cunoașterea nu atinge niciodată desăvîrșirea, ci se apropie doar mereu de ea, iar odată cu aceasta tabloul lumii devine tot mai complex. Dar saltul pe care omul l-a făcut, împins de necesitățile practicii și bazat pe rațiune, pe calcul și instrumente tot mai perfecționate, spre descifrarea enigmelor cerului boltit deasupra sa, este imens. Deși astronomia are o vechime multimilenară, un ghid al Cosmosului cît de cît corect nu se putea

serie nici măcar acum cinci veacuri, căci astronomii, inclusiv Copernic, mai credeau într-o „sferă a stelelor fixe“, cu alte cuvinte imaginea pe care și-o făceau despre lume era corectă doar în ce privește sistemul nostru planetar — iar aceasta includea, ca ultimă planetă cunoscută atunci, pe Saturn.

Din perspectiva preocupărilor lucrării de față, vom împărți acest scurt capitol de istorie a astronomiei în următoarele paragrafe, corespunzător înțelegerii progresive a structurii Universului:

— Cerul, cea dintîi călăuză.

— De la mituri la primele viziuni științifice. Edificiul geocentric.

— Răsturnarea în concepția despre sistemul solar.

— Descoperirea Galaxiei și redescoperirea sistemului planetar.

Vom urmări deci mai puțin evoluția instrumentelor și metodelor, fără îndoială foarte importantă în astronomie, ca și în alte științe, cit procesul complicat prin care omul a înțeles tot mai profund înfățișarea reală a Universului.

2. Cerul, cea dintîi călăuză

Referitor la prima perioadă, de care e vorba în paragraful de față, trebuie să începem prin a arăta că o cunoaștere astronomică demnă de atenție și-a lăsat urmele încă dintr-o epocă mult anterioară oricăror documente istorice scrise. Este vorba de desene și semne astronomice reprezentate de omul primitiv pe pietre, stînci, oase, coarne, ca și pe pereții peșterilor, de orientarea, uneori excepțional de precisă, a mormintelor și unor monumente, în raport cu aștri și fenomenele cerești. Din Sahara și pînă în China, din America Centrală și pînă în sudul Franței, din țara noastră și pînă în Anglia, descoperirile arheologice stau mărturie interesului permanent al omului primitiv pentru bolta cerească,

faptului că el urmărea cu perseverență și inteligență stelele, Soarele, Luna și acumula numeroase fapte de observație fundamentale despre cer. Evident însă că îl handicapau lipsa instrumentelor de observație, ignoranța în ceea ce privește natura corpurilor cerești și incapacitatea de a concepe Pământul drept un corp ceresc, ca și existența doar a unor rudimente de calcul. Cu toate acestea, omul epocii de piatră observa și trăgea concluzii, care apoi se transmiteau din generație în generație.

Paleoliticul — epoca veche a pietrei, cea dintâi etapă a istoriei omului — care consemnează ca îndeletniciri umane vânătoarea și culesul plantelor sălbatice comestibile, unice surse de existență, este epoca în care — datorită nevoii de orientare pe terer. — au apărut în gândirea omului primele noțiuni de astronomie. Paleoliticul a durat o perioadă foarte lungă de timp: a început acum circa 2—3 milioane de ani (după unii specialiști, de pildă antropologul dr. Richard Leakey, chiar mai devreme) și s-a sfârșit în jurul anului 10 000 î.e.n. Din această vreme, s-au descoperit unele mărturiile arheologice semnificative privind nașterea astronomiei. Un arheolog american, Alexander Marshack, a dovedit recent că omul știa deja — încă acum 35 000 ani — să transcrie fazele Lunii pe os, folosind un fel de notație abstractă, deci cu mult înainte de apariția scrisului și, poate, chiar a numărării.

Fără îndoială că Soarele și Luna au atras în primul rind atenția omului din paleolitic. Dar stelele? Deocamdată nu dispunem încă de mărturiile arheologice din această perioadă, dar, după cum vom vedea în cele ce urmează, este de presupus că de pe atunci strămoșul nostru folosea bolta cerească în anumite scopuri practice. Cu atât mai mult, în următoarea perioadă — în mezolitic — care a durat între 10 000 î.e.n. și 7 000 î.e.n., numărul cunoștințelor astronomice a sporit.

O vreme cu adevărat hotăritoare în viața omului primitiv a fost neoliticul. În general, această epocă — epoca nouă

a pietrei — cuprinde perioada de timp dintre anii 7000 î.e.n. și 2500 î.e.n. Pentru teritoriul României, neoliticul a durat de la anul 5500 î.e.n. până în anul 2200 î.e.n. El se caracterizează mai ales prin cultivarea plantelor și creșterea animalelor; dacă în paleolitic vânătoarea este predominantă, în neolitic rolul acesta îi revine agriculturii primitive. Or, această îndeletnicire reclamă observarea mai atentă a anotimpurilor, în scopul practic al îndeplinirii diferitelor munci agricole. Iată de ce, în neolitic, Soarelui i se dă cea mai mare importanță; de căldura și lumina lui depind — au observat, după o experiență de milenii, oamenii acelei epoci — seceta și ploaia, recolte bogate, iar răsăriturile lui de-a lungul anului din puncte diferite de pe orizont marchează alternarea anotimpurilor. Necunoscînd cauza științifică a acestor fenomene ale naturii și legăturile dintre ele, ce-i mai rămînea omului din neolitic, în fața puterii imense a acestui astru, decît să-l zeifice? Așa se nașteau zeii și zeițele în închipuirea și, deci, în conștiința omului primitiv. Soarele devine zeu suprem al naturii, care primăvara are puterea „reinvierii” ei; tot primăvara, prin multiplele nașteri, el asigură perpetuarea speciilor de animale. Iată așadar că întreaga viață, tot ce se naște, crește și se înmulțește, tot ce moare și putrezește, depinde de Soare. Dar și Lunii i se acordă toată atenția, iar cultul ei e străvechi. Numărarea răsăriturilor sau apusurilor de Soare între două luni pline a constituit o fundamentală măsură a timpului. Probabil că încă de atunci oamenii credeau ceea ce cu multă vreme mai tîrziu un rabin avea să exprime în „Midraș”; „Luna a fost creată pentru numărarea zilelor”.

Datorită mării varietăți a caracteristicilor sale, neoliticul se subîmparte în mai multe perioade: neoliticul vechi (5500—3500 î.e.n.), neoliticul mijlociu (3500—3000 î.e.n.) și neoliticul tîrziu sau eneoliticul (3000—2200 î.e.n.). După datele de care dispunem pînă acum, un trib identificat la Cernica dovedește cele mai vechi cunoștințe de astronomie de pe teritoriul României; acesta aparține neoliticului

vechi, cercetările arătînd că a existat între anii 4400 î.e.n. și 4200 î.e.n. (vezi fig. 1). Apar apoi la noi și alte dovezi ale cunoștințelor de astronomie. Ele sînt legate tot de cultul Soarelui, fără a se fi putut pînă azi pune în evidență vreo urmă privind observarea stelelor și constelațiilor. Să revenim însă la așezarea de la Cernica. Cu circa 6000 de ani înaintea noastră, nu departe de locul unde azi se înseamnă pe hartă Capitala României, pe un platou înconjurat din trei părți de actualul lac Cernica, își desfășura modesta și, aparent, liniștita viață un trib preistoric. Cercetările dovedesc că necropola (cimitirul) străvechi de aci aparținea unei culturi omenești din neolitic, pe care arheologii o denumesc „cultura Boian, faza I“. Dintre toate cimitirile de acest fel descoperite pînă în prezent, se pare că necropola de la Cernica este cea mai mare din Europa (prin numărul scheletelor umane dezvelite, corespunzînd epocii istorice respective). Observînd o oarecare regularitate în orientarea mormintelor de la Cernica, arheologii au apelat la serviciile astronomilor pentru studiul acesteia. Rezultatul cercetărilor a fost deosebit de interesant: tribul de acum 6000 de ani, venerînd astrul zilei, Soarele, practica un anumit ritual al înmormîntărilor, îngropîndu-și morții dimineata, în momentul solemn al răsăritului Soarelui și așezînd trupurile în groapă întotdeauna cu fața spre Soare, *orientate în direcția acestuia*. Oamenii urmăreau bineînțeles un scop; ei înțelegeau deja că lumina și căldura Soarelui este un lucru necesar vieții și crezînd probabil într-o continuare a existenței celui care a murit, pe lingă uneltele și hrana pe care le puneau în groapa mortului, orientau corpul în direcția Soarelui-răsăritor, pentru ca în chip magic — astrul să le asigure în continuare viațuirea și după moarte. Descoperirea de la Cernica marchează o fază timpurie a cultului Soarelui, a „cultului solar“, binecunoscut mai ales la comunitățile omenești de mai tîrziu, din epoca bronzului și fierului.

Sintem astfel aici la izvoarele primelor cunoștințe astronomice documentate pînă în prezent pe teritoriul României; oamenii din epoca pietrei cioplite de la Cernica aveau cu siguranță conștiința succesiunii zilelor și a nopților, a legăturii dintre punctul de răsărit al Soarelui pe orizont și un anume anotimp, a revenirii anotimpurilor. Într-o oarecare măsură, constatarea cu privire la mișcarea punctului de răsărit al Soarelui pe orizont odată cu anotimpurile — iarna Soarele răsărind din sud-est, iar vara din nord-est — le servea drept calendar. Un calendar, firește, rudimentar. Acesta nu consta într-o notare sistematică — rînduită — a zilelor și anotimpurilor dintr-un an, ci se întemeia, pur și simplu, pe observația — într-adevăr astronomică — că Soarele răsare în diferitele anotimpuri din direcții diferite. Prin observațiile lor, dacă nu și prin scopurile rituale pe care le urmăreau, oamenii primitivi de la Cernica deschideau pe teritoriul țării noastre calea spre știința astronomiei. Ca mărturie a acestor cunoștințe de astronomie, unul din cele peste 300 de schelete neolitice descoperite la Cernica a fost adus și expus, orientat ca și pe teren, la Muzeul Astronomiei Românești de pe lângă Observatorul Astronomic al municipiului București, din bd. Ana Ipătescu.

Explicația preocupărilor străvechi pentru astronomie nu este numai și în primul rînd aceea că omul e un animal prin excelență curios. Cunoștințele astronomice erau pentru făptura umană o pirghie de bază a organizării activității sale și a comunității sociale din care făcea parte. Aștrii îi serveau, în această privință, pentru orientarea *în timp* și *în spațiu*, înlocuind ceea ce aveau să fie, cu mult mai tîrziu, ceasornicul, calendarul și busola. Lungimea umbrei aruncate de un bețișor înfipt în Pămînt a fost probabil primul ceasornic solar, ciclul fazelor Lunii și înălțimea maximă la care Soarele se ridică la amiază deasupra orizontului sau direcția din care răsare la orizont dimineața au servit celor dintîi determinări ale anului, acestea din urmă vitale, cum

am văzut, mai ales atunci cînd primitivul a început să practice agricultura și păstoritul.

Unele monumente din epoca pietrei sînt în mod direct legate de observații astronomice surprinzător de precise. Monumentele megalitice de la Stonehenge (Anglia) și Carnac (Bretania) sînt de pildă orientate foarte exact în funcție de echinoxii și solstiții, ceea ce duce la efecte optice impresionante la datele respective. Astfel, dintre cele trei alei străjuite de pietre la Carnac, una este orientată precis în direcția din care răsare Soarele la echinocțiu, iar celelalte două sînt orientate în direcția răsăritului de Soare la solstițiul de vară.

3. De la mituri la primele viziuni științifice. Edificiul geocentric

Încă de la sfîrșitul orînduirii comunei primitive, omul depășește faza exclusivei observări a cerului și a primelor concluzii trase de pe urma acesteia, începe să se preocupe de alcătuirea și structura Universului, caută să dea primele răspunsuri. Se nasc astfel imaginile mitice, care vor ajunge la dezvoltarea lor maximă în cursul orînduirii sclavagiste, în vremea apariției marilor civilizații ale antichității. Miturile și legendele despre alcătuirea lumii ne apar astăzi de o naivitate copilărească, dar însuși interesul de a le concepe reprezintă un uriaș pas înainte în cunoaștere și totodată o mare cutezanță a minții omenești, diferențiînd fundamental omul de celelalte animale.

Imaginile mitice, deosebite de la o seminție la alta, se bazează firește pe aparențe, pe ceea ce părea omului ca fiind „de la sine înțeles”. Pămîntul era de aceea conceput imobil în centrul Universului și toate astrele ca rotindu-se în jurul său — așa cum rezulta din experiența imediată (o prejudecată puternic înrădăcinată, care a stat și la originea geocentrismului). Pe de altă parte, privit de la suprafața sa,

Pământul apărea ca un câmp *întins și plat, mărginit de hotarele orizontului*. Iar deasupra sa, omul zărea o boltă, ca un acoperămint de cristal, pe care circulă aștri mai mari și mai mici, ce par să dea ocol Pământului. Și atit Pământul cît și cerul erau socotite că „stau“ pe ceva, că se „sprijină“ pe un suport sau altul, pentru ca să nu „se prăbușească“. Este o viziune încă foarte depărtată de știință, dar ea vădește începutul unui spirit de investigație demn de a fi subliniat. După cum remarcă G.I. Perel într-o lucrare privind dezvoltarea concepțiilor despre Cosmos, în acele vremi îndepărtate, cînd s-a întreat pentru întia dată *cum este Universul*, „omul considera lumea și toate fenomenele observabile așa cum îi erau date de percepțiile senzoriale nemijlocite“. Pe de altă parte, cerul era conceput ca fiind *cu totul diferit* de Pământ, un presupus „lăcaș al zeilor“, spre deosebire de lăcașul terestru al „oamenilor muritori“.

O astfel de imagine astronomică naivă a fost de pildă cea egipteană. Pământul era pentru vechii egipteni o tăblie întinsă, aflată în centrul Universului, mărginită de munți în toate părțile, bolta cerească solidă fiind sprijinită pe acești munții. Și la mayași cerul era socotit a se sprijini pe patru „purători“. După un alt mit al antichității, Pământul era înfățișat ca un fel de insulă întinsă, așezată pe spatele a trei balene plutind pe un ocean imens. Unul dintre miturile babiloniene prezintă un oarecare progres, Pământul fiind conceput convex și nu plat, probabil pe baza unor observații (care nu ni s-au transmis). Dar și la ei deasupra Pământului se află „bolta solidă“, de care sînt aninate stelele. Cel mai important astru este, firește, Soarele, care e presupus a circula în fiecare zi, printr-un jgheab special al bolții, de la răsărit la apus. Noaptea, Soarele se întoarce, pe un jgheab subteran, de la apus spre răsărit. Iar deasupra bolții, este lăcașul făpturilor atotputernice de care depinde soarta tuturor viețuitoarelor: zeii.

Trebuie menționat că atunci cînd în marile imperii sclavagiste ale antichității au început observațiile sistematice

asupra pozițiilor și mișcărilor astrilor, acestea s-au făcut în două scopuri fundamentale diferite: pe de o parte pentru a servi unor scopuri practice, de pildă pentru precizarea calendarului sau pentru prevederea perioadei de revărsare anuală a unor fluvii (fenomen vital pentru agricultura unor țări), iar pe de altă parte pentru a se „proroci” viitorul pe baza pozițiilor relative ale astrilor, presupuși a reflecta voința supranaturală a zeilor. Astronomia practică și astrologia au viețuit astfel multă vreme laolaltă. Secole mai târziu, marele Kepler avea să scrie: „Astrologia este fiica neroadă a astronomiei. Dar cu salariile actuale ale matematicienilor, mama n-ar putea trăi, dacă fiica n-ar câștiga ceva bani”.

Se poartă încă multe discuții asupra vechimii marilor descoperiri astronomice la diferite popoare, nefiind formulate încă concluzii definitive în această privință. După cîte se pare, observații astronomice de o mare precizie s-au efectuat de timpuriu de către popoarele Americii Centrale, mai ales de către mayași (peste 1000 de observatoare astronomice precolumbiene pe teritoriul mexican). Din însemnările astronomice rezultă de pildă că o eclipsă de Lună a fost consemnată încă din anul 3379 î.e.n. și că la o deosebită precizie ajunsese calculul calendarului. Durata revoluției lunare fusese calculată la 29,526 zile și se făcuse de asemenea o încercare de a se stabili o perioadă a planetei Venus. Astronomia chineză păstrează tradiția construcției unei sfere pe care se puteau urmări mișcările corpurilor cerești încă din jurul anului 2950 î.e.n., a edificării unui observator astronomic important în jurul anului 2650 î.e.n. și a unei reforme a calendarului efectuată de astronomii imperiali în aceeași perioadă (anul a ajuns să fie apreciat destul de precis, la 365 $\frac{1}{4}$ zile), în sfîrșit a prevederii curente a eclipselor (doi astronomi ar fi fost decapitați, în anul 2159 î.e.n., deoarece ar fi neglijat să anunțe o eclipsă). Cometele erau de asemenea riguros observate. Marele astronom chinez Și Șen a

alcătuit, în jurul anului 350 î.e.n., ceea ce se pare că a fost primul catalog de stele din istoria științei, cuprinzând circa 800 aștri. Venus („Marea Albă”) și Jupiter erau de asemenea observate și ciclurile revoluțiilor lor cunoscute.

Datorită secretului religios de care era înconjurată, știm prea puțin despre astronomia egipteană și multe surprize mai sînt posibile. Au ajuns totuși pînă la noi mai ales date despre observațiile astronomilor-preoți ai văii Nilului privind calendarul și se pare că știința astronomică în ansamblul ei era destul de dezvoltată. Astfel, din datele care ni s-au transmis, rezultă, după unii autori, că valoarea oblicității eclipticii a fost stabilită relativ precis, iar coroana solară și chiar protuberanțele ar fi fost observate (în cursul unor eclipse). Orientarea marilor piramide indică și ea cunoștințe de astronomie practică destul de exacte. Observații interesante s-au făcut și în ce privește o serie de stele luminoase. În India, încă din mileniul al II-lea î.e.n., în Vede se fac referiri la Lună, Soare, stele — dar planetele nu par la început diferențiate de acestea. Abia influența astronomiei babiloniene și apoi „infuzia” de astronomie grecească urmînd cuceririi lui Alexandru Macedon, duc la înflorirea astronomiei indiene. Încep să apară mențiuni despre planete, mai ales Jupiter, iar astronomii indieni elaborează metode proprii de stabilire a poziției corpurilor cerești, diferențiază anul sideral de cel solar, iar mai tîrziu unii dintre ei se îndoiesc chiar de imobilitatea Pămîntului. Cunoștințe destul de însemnate aveau de asemenea popoarele Polineziei și Microneziei, adolescenții fiind inițiați încă din cele mai vechi timpuri în tainele astronomiei, cu ajutorul unor globuri; stelele erau cu pricepere folosite pentru orientarea navigatorilor în călătoriile lor pe cuprinsul oceanului, ca o veritabilă busolă cerească.

Să-i amintim de asemenea pe geto-daci, despre a căror astronomie am ști cu mult mai mult dacă de la ei ni s-ar fi transmis documente scrise. O mărturie extrem de interesantă o constituie sanctuarele rotunde. Sanctuarul

mare rotund de la Grădiștea Muncelului a fost interpretat de C. Daicoviciu, H. Daicoviciu și G. Charrière, ca materializarea unui sistem calendaristic; conform acestei ipoteze, ar fi vorba de *unul dintre calendarele cele mai precise ale antichității*, anul dac-corectat rezultând de 365,29 zile, cu o diferență în plus de numai 0,05 zile față de anul tropic.

Înainte de a trece mai departe, la astronomia babiloniană (de fapt anterioară unora dintre științele schițate mai înainte) și la cea greacă (care s-a bazat în mare măsură pe ea), prilejuind acel mare salt înainte în înțelegerea structurii Universului de la care a pornit actuala imagine a lumii, este însă necesar să semnalăm un aspect important. E drept, viziunea omului antic despre lume rămânea limitată și aceasta în primul rând datorită imaginii false care exista despre poziția Pământului, considerat imobil și despre toate celelalte astre, considerate ca rotindu-se în jurul său. Înaintea grecilor, nu a existat *un model de ansamblu* care să reprezinte structura și mișcările sistemului nostru planetar, nici măcar în spiritul geocentrismului. Au existat însă străfulgerări ale adevărului, probabil chiar mai numeroase decât s-au transmis până la noi (căci pe cele mai multe le-a oprit probabil bariera concepțiilor religioase, care adoptaseră viziunea dictată de „bunul simț“). Să menționăm însă cel puțin un exemplu al unor asemenea lumini în întuneric. În știința chineză, unde Lao Tzi proclamase ideea ateistă că forțele divine nu au nici o influență asupra proceselor terestre, totul în lume apărind și evoluind pe căi proprii, Luo Sia Hong (sec. II. î.e.n.) elaborează o teorie, e drept geocentrică, dar care explică anotimpurile și alte fenomene prin mișcările Terrei. „Pământul — scrie el, combătând adânc înrădăcinata dogmă a imobilității acestuia și proclamând principiul relativității mișcării — se mișcă continuu, dar oamenii nu observă acest lucru; ei sînt asemenea unor indivizi închiși într-o corabie; cînd corabia se deplasează, nu își dau seama de realitatea deplasării“. Este, în aceasta, o

sfidare adresată viziunii bazate pe aparențe, pe „bunul simț“, care adesea e un prost sfătuitor în știință. O teorie cosmogonică atribuită lui Tsi Măng ni s-a păstrat expusă doar în lucrări medievale. Este teoria „noptii întinse“, care contestă existența firmamentului solid, albastrul cerului fiind socotit pe drept cuvânt ca un efect optic. Stelele, Luna, Soarele, sînt concepute ca plutind liber în spațiu. Un alt astronom chinez, Li Tii, respinge ideea primejdiei „prăbușirii cerului“, tot pe baza unei înțelegeri mai profunde a firmamentului.

După cum arătam mai înainte, un nivel înalt și decisiv pentru progresul astronomiei l-a atins știința sumeriană, devenită apoi asirobabiloniană, ale cărei prime consemnări despre Cosmos datează cam cu două milenii înaintea erei noastre (înflorirea ei s-a produs însă mult mai târziu). Învățații Babilonului au avut o contribuție esențială în „cartarea“ cerului pe baza celor 12 constelații zodiacale și în general ei au făcut liste foarte precise ale constelațiilor și ale pozițiilor lor relative (pe care ulterior grecii le-au preluat de la ei). După secole întregi de observații asupra eclipselor, babilonienii descoperă ciclul „Saros“ al producerii acestora, ceea ce le permite prevederea lor. O realizare de vîrf a astronomiei babiloniene a constituit-o elaborarea tabelelor lunare ale lui Kidinnu (380 î.e.n.), care permiteau previziunea precisă a apariției Lunii noi, în ciuda extremei complicații a mișcărilor lunare. Diferențierea precisă a planetelor de stele și determinarea foarte exactă a căilor celor dintii, atinge în astronomia babiloniană gradul cel mai înalt înregistrat în știința pregrecească. Duratele sinodice de revoluție ale celor cinci planete cunoscute în vechime, care se observă lesne cu ochiul liber (Mercur, Venus, Marte, Jupiter, Saturn) sînt determinate exact. Iată textul unei tablete din Ninive, care prezintă calea șerpuitoare descrisă de o planetă pe boltă: „Cînd a ajuns la cea mai mare strălucire, Marte a devenit superb și a rămas așa mai multe săptămîni. Apoi, cîtva vreme astrul a pornit-o înapoi, pentru a-și relua pe

urmă calea obișnuită, parcurgind astfel de două și de trei ori același drum. Mărimea retrogradării a fost de 20 grade“. Se pare că astronomii dintre Tigru și Eufrat observau și cometele, „stele luminoase ce apar pe neașteptate“. Observatori și calculatori exemplari, babilonienii au alcătuit efermeride extrem de precise, acumulând un prețios material factual. Nu au mers însă mai departe pe calea constituirii unui sistem astronomic, în mare măsură datorită faptului că erau clerici; știința lor era pusă pe de o parte în slujba unor nevoi practice, iar pe de altă parte subordonată scopurilor religioase și prezicerilor cu caracter astrologic. Poate că unii dintre ei au ajuns la întuirea sau chiar la înțelegerea unor aspecte profunde ale imaginii lumii, dar acestea nu ni s-au putut transmite, întrucât nu au fost consemnate, deoarece nu concordau cu ideile religioase.

Progresul hotărîtor al astronomiei antice a fost determinat, cum arătam, de astronomia greacă. Condițiile materiale specifice ale civilizației grecești — agricultura intensă, navigația amplă, coastele maritime foarte întinse, favorizînd comerțul, contactul cu numeroase alte țări — au contribuit la dezvoltarea unei civilizații și culturi strălucite, în care s-au pus treptat și s-a încercat rezolvarea marilor probleme ale cunoașterii. Orientarea în spațiu și timp, după aștri era curentă încă în *Odissea* lui Homer, ca și în vestitul poem *Munci și zile* al lui Hesiod. În acesta din urmă, citim de pildă:

*Atunci cînd Orion și Sirius vor fi ajuns la mijlocul cerului
Și cînd Aurora, cu degete trandafirii, va fi văzut steaua*

Arcturus,

Atunci, Perses, culege și du-ți acasă strugurii [...]

Apoi, după apusul Pleiadelor, al Hyadelor și al

Puternicului Orion, adu-ți aminte că este vremea însămînțării.

Deși știința greacă nu a fost cu totul străină de influența religiei (unii astronomi au avut greu de suferit de pe urma concepțiilor lor științifice prea îndrăznețe sau de pe urma ateismului lor declarat), ea nu a fost practică între zidu-

rile templelor, a fost *în esență laică*, ceea ce i-a conferit un grad superior de independență. În aceste condiții, grecii au putut prelua și duce mai departe observațiile foarte migăloase în primul rînd ale astronomilor dintre Tigrul și Eufrat; în același timp, au căutat să explice fenomenele, să stabilească cauzele lor. Dacă chinezii și babilonienii prevedeau de pildă eclipsele — înfăptuire fără îndoială remarcabilă a științei antice — pe baza stabilirii empirice a periodicității lor, grecii au făcut un important pas înainte, descoperind cauza fenomenului în pozițiile relative ale Pămîntului, Lunii și Soarelui în spațiul cosmic. Treptat, o serie de astronomi au ajuns să înțeleagă că diferitele astre nu sînt fixate pe firmament, că Luna este mai aproape de Pămînt decît planetele (lucru dovedit de interpretarea eclipselor și ocultațiilor) și că planetele la rîndul lor sînt mult mai apropiate decît stelele. Iată elemente însemnate ale precizării imaginii lumii — astăzi evidente pentru noi, în trecut reprezentînd însă cuceriri esențiale ale cunoașterii. Totodată, în Grecia se încearcă pentru prima dată să se elaboreze o teorie planetară, să se explice în mod sistematic mișcările planetelor, în cadrul unui sistem.

Din păcate, textele celor mai vechi dintre învățații greci nu ne-au parvenit. Ceea ce știm despre ei, provine din surse mai tîrzii, care uneori se contrazic. Să încercăm a desprinde cîteva fapte cu un grad ridicat de probabilitate. Primul mare astronom grec a fost Thales din Milet (cca. 624—548 î.e.n.), întemeietorul școlii ioniene. Observator minuțios al poziției astrilor, el este considerat promotorul unei concepții raționale despre natură. Cu toate acestea, Aristotel l-a criticat, atribuindu-i părerea că Pămîntul este un disc plat, care plutește pe apă. Se presupune că ar fi determinat inegalitatea anotimpurilor și Herodot scrie că ar fi prevăzut o eclipsă de Soare. Discipolul său, Anaximandru (611—545 î.e.n.) vede Pămîntul sub forma unui cilindru și consideră, în mod greșit, că stelele sînt mai apropiate de noi decît Luna și Soarele; în orice caz însă, apreciază că nu toți

aștrii se află la aceeași distanță de Terra. El își dă seama că Soarele este considerabil mai mare decât Pământul. În ceea ce îl privește pe Pitagora (581—500 î.e.n.), după unele surse el a fost cel dintâi care a susținut că Pământul este o sferă ce plutește liber în spațiu, ideea sfericității Terrei impunându-se în Grecia cam între 550 și 450 î.e.n. Dealtfel, întreg Universul e conceput de Pitagora ca o sferă, de la el și de la pitagoricieni pornind teoria sferelor și a mișcărilor „perfect circulare“ ale planetelor (care inițial a reprezentat o aproximație folositoare, pentru ca mai târziu să devină cu totul nesatisfăcătoare pentru explicarea mișcărilor din sistemul planetar).

Parmenide din Elea (504—450 î.e.n.) este (după Plutarh) descoperitorul faptului că lumina Lunii este „împrumutată“ de la Soare — o idee justă, larg răspândită de pitagoricieni. Un gânditor de o mare cutezanță este Heraclit din Efes (540—470 î.e.n.), care și-a proclamat cu o rară forță ateismul, fiindu-i atribuite cuvintele: „Lumea este pe deplin unitară, n-a fost creată de nimeni dintre zei și de nimeni dintre oameni, ci a fost este și va fi un foc veșnic viu, care se aprinde și se stinge după anumite legi.“ Un alt astronom grec cu totul remarcabil este Anaxagora din Clazomene (500—429 î.e.n.), ale cărui descoperiri sînt extrem de importante. El concepea Soarele ca un glob incandescent și Luna ca un corp întunecat, cu munți și șesuri, explica în mod corect atît fazele Lunii, cît și eclipsele de Soare și de Lună. Pentru a arăta de ce Soarele, Luna și ceilalți aștri pe care-i socotea că se rotesc în jurul Pământului nu cad pe suprafața sa, Anaxagora spunea că acest lucru se întîmplă din aceeași pricină pentru care piatra din ghiocul praștiei nu cade pe mina care o rotește, ci descrie un cerc în jurul ei. Adăugînd la toate acestea afirmația că un cult religios închinat aștrilor nu are nici un sens, Anaxagora a fost întemnițat și numai protecția ilustrului său elev Pericle l-a scăpat de la moarte. E drept că, după cîte se pare, același învățat a emis și unele idei greșite: socotea de pildă Soarele

mai mic decât Pământul, iar Luna era după el cam de talia Peloponezului (actuala peninsulă Moreea, în sudul Greciei).

Pitagoricianul Filolaus din Tarent (450—400 î.e.n.) atribuie nu numai Pământului dar tuturor astrelor, o formă sferică, „singura formă perfectă”. Despre Pământ, el subliniază că nu are nici „sus” nici „jos” și — ceea ce este mai important — îl detronează din poziția de centru al Universului; nu atribuie însă această poziție Soarelui, ci unui „foc central”, în jurul căruia toate astrele s-ar roti. Ideile lui Filolaus arată însă limpede că el consideră Pământul drept un corp ceresc ca oricare altul și nu drept ceva excepțional. Pornind de la concepția sfericității Pământului, Eratostene din Alexandria (276—194 î.e.n.) a reușit cel dintâi să măsoare circumferința planetei noastre, valoarea obținută de el (echivalentă cu cca. 40 500 kilometri) fiind uimitor de precisă pentru acea vreme. În sfârșit, primul filozof care a dat o explicație corectă Căii Lactee a fost Democrit din Abdera (460—370 î.e.n.), dealtfel și unul dintre creatorii teoriei atomiste; el a înțeles că este vorba de „foarte multe stele îngrămădite strins”.

Revenind la structura sistemului nostru planetar, trebuie să-l amintim pe discipolul lui Platon Eudoxus din Knidos (408—355 î.e.n.), care concepe un model, dealtfel destul de complicat, pentru a explica mișcările planetelor și Lunii în jurul Pământului, bazat pe un mare număr de sfere (27). Avem de-a face cu o teorie matematică chemată să explice mișcările corpurilor cerești în spiritul geocentrismului, care, modificată de mai multe ori, a dominat astronomia timp de secole. Ulterior, Calippus adoptă un număr de 35 sfere, iar Aristotel (384—322 î.e.n.), cel mai mare gânditor al antichității, ajunge la 55. Aristotel a adus numeroase probe în favoarea sfericității Pământului (umbra rotundă a Terrei pe Lună în cazul eclipselor etc.), dar a susținut cu îndrăzneală geocentrismul și imobilitatea Pământului, ca și ideea despre „perfectiunea” și „eternitatea” corpurilor cerești, în contrast cu „imperfectiunea” și „vremelnicia” obiect-

telor pămîntesti. Mișcarea circulară fiind considerată o mișcare perfectă, ea este armonioasă și proprie corpurilor cerești („lumii supralunare“). Aristotel socotea sistemul geocentric ca o schemă construită pentru veșnicie. Nu e de mirare că mai târziu, în evul mediu, scolastica a practicat un adevărat cult al acestui învățat; pentru a deveni profesor la Universitate, trebuia să te declari în primul rînd de acord cu părerile lui Aristotel, printre care și cele privind cometele (acestea din urmă complet greșite, căci considerau cometele fenomene luminoase din atmosferă). Desigur, aceasta nu micșorează meritul lui Aristotel ca învățat care a sintetizat cunoștințele antichității și ca gînditor lucid, rațional, convins de realitatea lumii înconjurătoare și de posibilitatea cunoașterii ei.

În timp ce partizanii lui Eudoxus, Calippus și Aristotel încercau să găsească noi soluții matematice în cadrul sistemului geocentric, pentru a explica abaterile pe care Soarele, Luna, planetele le prezentau față de „armonia“ mișcărilor „perfecte“ ale corpurilor cerești, doi greci geniali marchează un interludiu, care dacă nu năruie, cel puțin contestă cu neasemuită cutezanță concepția geocentrică predominantă.

Este vorba în primul rînd de Heraclid din Pont (388—355 î.e.n.), elev al lui Platon și contemporan al lui Aristotel, un neconformist notoriu, de la care din păcate nu ne-a parvenit nici un text; în schimb, autorii care vorbesc despre el nu se contrazic nicidecum (Simplicius, Chalcidius, Aetius). Iată ce spun aceștia. „El face ca Pămîntul să se rotească în jurul său însuși în decursul unei zile, în timp ce cerul este în repaus. El mișcă Pămîntul ca o sfîrlează, de la Vest la Est, în jurul propriului său centru“; „el face ca Venus să se rotească în jurul Soarelui și nu al Pămîntului“; „el face ca ecliptica să fie descrisă de către Pămînt, iar Soarele dobîndește rolul unei stele fixe“. Iată deci enunțate adevăruri de cea mai mare importanță. În primul rînd, se afirmă ideea rotației Terrei în jurul propriei axe, care duce la *ilu-
zia* rotației diurne a cerului (o idee pe care Aetius o atribuie,

deși mai puțin explicită, și pitagoricianului Ecphantus), apoi nu numai că Pământul este detronat de pe poziția de centru al revoluției tuturor planetelor, dar se mai acordă — cel puțin pentru orbitele lui Mercur și Venus — acest rang Soarelui. Iată deci o idee în mod clar heliocentrică, precursora lui Copernic.

Nu știm cât de departe a mers Heraclid din Pont cu ideile sale heliocentrice. Sigur este însă că un alt astronom, geniu de necontestat al antichității, Aristarh din Samos (320—250 î.e.n.), membru al vestitei Academii din Alexandria, elaborează schema primului sistem planetar heliocentric cunoscut, planetele, inclusiv Pământul, rotindu-se în jurul Soarelui. Numai una dintre lucrările sale și nu cea mai importantă ne-a fost transmisă — *Despre dimensiunile și distanțele Soarelui și Lunii* —, dar toate sursele cunoscute îi citează ideea heliocentrică temerară. Astrul zilei devine la el un reper fix în centrul Universului. Aristarh, observă cu muștrare Plutarh, a comis „impietatea de a fi pus în mișcare inima Universului“. Arhimede, contemporanul astronomului, arată și el că la Aristarh „stelele fixe și Soarele rămân nemișcate, iar Pământul se mișcă în jurul Soarelui pe circumferința unui cerc“. Aristarh mai admitea că Terra se rotește în jurul axei sale. Nu știm pe ce s-a bazat și cât de departe a mers în elaborarea sistemului său. A avut el de pildă o bază matematică a teoriei sale? A păstrat sau a înlăturat sferele lui Eudoxus? În orice caz, Aristarh a fost un spirit extrem de profund și de lucid. A fost cel dintâi care a încercat să determine, prin observații, mărimea și distanța Soarelui și Lunii. Aceste determinări sînt uneori destul de exacte; diametrul Lunii este calculat la 0,36 din diametrul Terrei, față de 0,27 — valoarea reală. A arătat imensa depărtare a stelelor față de Pământ, subliniind că dimensiunea cercului descris de Pământ în jurul astrului zilei este ca un punct față de distanțele pînă la stele; de aci, rezulta implicit ideea că sistemul nostru planetar nu este decît o insulă infimă în spațiul cosmic. Răsplata lui Aris-

tarh n-a fost pe măsura meritelor sale; a suferit osînda grea a exilului, după ce stoicul Cleantes, discipol al lui Zenon, ceruse chiar să fie demascat ca „hulitor“ al zeilor, deoarece încercase să mute „vatra“ lumii. Independența științei grecești își arăta astfel limitele. Nu se poate spune că viziunea lui Aristarh a rămas cu totul fără urmări. La un secol după el, Seleukos Babilonianul propovăduiește, la rîndul lui, idei precopernicane și izolat, de-a lungul veacurilor, pînă la Copernic, mai apar astfel de teze, una dintre ele citată chiar de titanul polonez (Mariano Capella — secolul al V-lea î.e.n.).

Autoritatea imensă a lui Aristotel a pus totuși în umbră ideile vizionare ale astronomului din Samos, mai ales că mijloacele vremii nu permiteau în acel timp demonstrarea lor, iar Aristarh a continuat multă vreme să fie citat doar ca un învățat original, care a vrut să răstoarne „concepția firească“ a lucrurilor.

Un mare geometru, care are meritul de a fi conceput o descriere matematică a mișcărilor complicate ale corpurilor cerești, în cadrul sistemului geocentric, a fost Apoloniu din Pergam (250—180 î.e.n.). În locul sferelor cerești, el folosește epicicluri și deferenți, termeni ulterior mult utilizați în astronomie; primul este un mic cerc suplimentar, al cărui centru se află pe orbita principală a planetei, cel de al doilea este un cerc mare, cu centrul nu în Pămînt, ci pe linia Pămînt-Soare. Prin parcurgerea de deferenți și epicicluri, se puteau reprezenta unele neregularități ale mișcărilor planetare: era o soluție aproximativă, geometrică și nu fizică. Cel mai mare astronom al antichității, Hipparc din Neeea (190—125 î.e.n.), s-a bazat pe concepția lui Apoloniu, ceea ce i-a permis să calculeze tabele destul de exacte pentru acea vreme ale mișcărilor Soarelui și Lunii, prevăzînd de asemenea, cu un grad înalt de precizie, pozițiile viitoare ale planetelor, menținîndu-se în cadrul sistemului geocentric. Hipparc face o observație foarte judicioasă pentru imaginea

sistemului planetar: cu cât o planetă are o perioadă de revoluție mai îndelungată, cu atât este vorba de o planetă mai îndepărtată. Ordinea componentelor sistemului planetar devine astfel la el (pornind de la centru): Pământ-Lună-Mercur-Venus-Soarele-Marte-Jupiter-Saturn-stelele. Hipparc a calculat durata zilei și anului, constatînd că acesta din urmă este ceva mai mic decît cele 365 $\frac{1}{4}$ zile la care era apreciat în vremea sa. Tot el precizează o serie de dimensiuni în cadrul sistemului planetar, de pildă distanța Pământ-Lună 33 $\frac{2}{3}$ diametre terestre (față de valoarea reală = 30,2). În ce privește distanța pînă la Soare și diametrul acestuia, el dă valori de circa zece ori inferioare față de cele reale, dar mai apropiate de adevăr decît ale lui Aristarh și în orice caz mai mari decît cele curențe în vremea sa. (Posidonius din Rhodos le va preciza apoi și mai mult). Inventarul de stele pe care îl face este cel mai important catalog stelar realizat în antichitate, cuprinzînd 1 080 aștri. Tot Hipparc este, din datele de care dispunem pînă acum, descoperitorul importantului fenomen al precesiei.

Prin Claudiu Ptolemeu (90—160 e.n.), modelul geocentric al lui Hipparc este dezvoltat și dus mai departe, ajungînd să domine astronomia timp de paisprezece secole, pînă la Copernic. Puține cărți au influențat atît de mult dezvoltarea științei ca manualul *Megale syntaxis* (Mare Operă) a astronomului alexandrin, pildă de claritate și monument de erudiție, care a sintetizat întreaga știință astronomică a vremii lui. Ptolemeu a fost în același timp astronom, matematician, geograf, istoric, muzician și, de asemenea, astrolog. *Megale syntaxis* cuprinde, între altele, catalogul stelelor fixe al lui Hipparc, cu unele diferențe mici. Există, în opera lui Ptolemeu, un efort continuu de a demonstra totul cu rigoare, o permanentă preocupare de a rămîne în limitele logicii, așa cum dovedește de pildă atunci cînd reia în mod strălucit demonstrația sfericității Pămîntului. Tot el observă și analizează refracția luminii stelelor în atmosferă. Schema sistemului geocentric al lui Ptolemeu este în gene-

ral aceea a lui Hipparc, cu unele precizări suplimentare aduse în ce privește deferenții și epichelurile, care la el se complică și mai mult; este totuși o încercare de a descrie rațional mișcările astrilor pe boltă, chiar dacă nu corespunde modelului real al sistemului planetar (fiind subordonat viziunii despre locul „cu totul deosebit“, central, ocupat de Pământ în Univers). Matematic vorbind, ipoteza aceasta pentru reprezentarea mișcării corpurilor cerești, care ia ca punct de referință Pământul, nu are nimic absurd (și o altă planetă putea fi luată drept punct de referință) — dar cu cât mai simplă ar fi fost dacă acest punct de referință ar fi fost Soarele, adică centrul fizic și mecanic real al sistemului! Și câte alte fenomene nu și-ar fi găsit o explicație mai simplă și mai firească dacă Ptolemeu nu s-ar fi cramponat de teza imobilității Pământului.

Putem acum să facem un bilanț al astronomiei antice, din perspectiva viziunii asupra Universului pe care a conceput-o. După miturile care au reprezentat prima încercare de a constitui o imagine a lumii, antichitatea obține o serie de progrese substanțiale. Ea realizează cea dintâi diferențiere dintre stele și planete. Forma Pământului se precizează pînă la urmă ca fiind sferică și Terra ajunge să fie privită ca un corp ceresc, considerat însă în general a ocupa o poziție centrală în Univers. Măsurarea dimensiunilor Terrei și a primelor distanțe cosmice dă unele noțiuni despre scara de mărime a Universului. Devine limpede că firmamentul solid, de care toți astrii par fixați, la aceeași depărtare de Terra, este o iluzie și, după multe erori, se precizează cel puțin depărtarea Lunii de Pământ (această depărtare și circumferința Terrei sînt singurele mărimi cosmice sigur determinate atunci). Din puzderia de aștri vizibili pe boltă, rațiunea desprinde Soarele, Luna și planetele, pentru a constitui din ele un sistem, considerat în general geocentric, a cărui limită extremă nu trece însă de orbita celei mai îndepărtate planete care se vede bine cu ochiul liber-Saturn. Acest sistem este considerat a fi cuprins într-o „sferă a stelelor fixe“

— toate stelele fiind presupuse a se afla la aceeași distanță de noi, grupate în formațiuni denumite constelații, despre care se credea în mod eronat că sînt alcătuite din stele aflate întotdeauna și în spațiu apropiate una de cealaltă. Inaccesibilitatea Cosmosului sugerează o falsă diferențiere între „lumea cerească” și „lumea pămîntească”, ceea ce corespunde și concepției religioase. Totodată, în antichitate apar primele idei și primul sistem heliocentric — e drept nereușind să se impună — dar vestind marea răsturnare copernicană de mai târziu.

Acestea sînt limitele pînă la care cheile lumii au deschis imaginea Universului la sfîrșitul secolului al II-lea al erei noastre...

4. Răsturnarea în concepția despre sistemul solar

Astronomia grecilor antici a reprezentat etapa cea mai înaltă în dezvoltarea științei astrilor în vechime. Oricît de limitat ne apare astăzi geocentrismul antic, el a constituit totuși un edificiu științific complex, un instrument de lucru de mare însemnătate practică și în același timp un uriaș progres față de închipuirile mitice.

La începutul evului mediu însă, Europa a făcut într-un sens un pas înapoi, ascensiunea creștinismului corespunzînd cu tentativa fanatică de a zdrobi orice rival al credinței. Manuscrisele științifice erau arse, dogmele Bibliei fiind ridicate la rangul de legi științifice. Știința trebuia să devină „sclava teologiei”, iar un teolog renumit, Tertulian (150—222 e.n.) proclama că nimic nu poate fi comun „între Atena și Ierusalim, între Academie și Biserică, întreeretici și creștini”. Se punea la îndoială posibilitatea existenței antipozitorilor și chiar sfericitatea Pămîntului, invocîndu-se din nou argumente de felul celor de secole spulberate de înțelepții greci, spre pildă: „Cum să fie Pămîntul rotund? Oamenii din jumătatea sa de jos merg oare cu capul în jos?” Vechile

imagini mitice ale lumii sînt reînviolate sau se nascocesc altele noi, ca aceea a lui Cosma Indicopleustes (secolul al VI-lea), care în a sa „Topografie creștină” scrie că Universul este asemenea unui scrin uriaș, în care Pămîntul e fundul și cerul e capacul, iar îngerii mișcă Soarele, Luna, stelele, aerul etc. Centre importante ale astronomiei antice, de pildă Alexandria, sînt invadate de magie și misticism.

Deși au existat și unele minți cercetătoare, deși în Bizanț s-au păstrat elemente ale științei grecești, în ansamblu astronomia a decăzut, numărul observatoarelor s-a redus considerabil, gîndirea științifică a stagnat. Dar firul întrerupt astfel a fost continuat și reînnoțat în mod neașteptat prin intermediul unor civilizații din afara Europei.

În primul rînd, în China a continuat tradiționala acumulare a observațiilor astronomice. Observațiile asupra eclipselor, cometelor, novelor — stele care explodează —, Soarelui etc. erau atît de precis consemnate, încît astronomia modernă le-a folosit pentru datarea unor fenomene și stabilirea periodicității altora. În India, cealaltă zonă de bază a civilizației asiatice, s-a dezvoltat în secolele IV—VII ale erei noastre o literatură matematică și astronomică extrem de bogată, sintetizată în secolul al VI-lea în așa-zisele „Sidhante” („Soluții”), dintre care cea mai importantă a fost Surya Sidhanta („Soluția Soarelui”), cuprinzînd capitole despre măsuraarea timpului, echinoxii și solstiții, mișcările planetelor, Lunii și Soarelui, sistemul lumii, astrologie. Este, e drept, un sistem geocentric, chiar cu reminiscențe mitice, toți aștrii fiind presupuși a gravita în jurul muntelui cosmic Meru, în vîrfurile căruia ar locui zeii; se remarcă însă de pildă că mișcarea planetelor pe boltă este uneori accelerată, iar alteori încetinită. Un loc aparte în astronomia indiană îl ocupă marele astronom și matematician Aryabața, născut în anul 476 e.n., unul dintre cei mai originali reprezentanți ai științei indiene. Acest om de știință hindus contestă teza

ptolemeică a imobilității Pământului, declarându-se convins că acesta se rotește în jurul propriei axe și că rotația sa explică calea aparentă a Soarelui pe cer și în general rotația diurnă a bolții. „Sfera stelelor — scrie el de pildă — este staționară și Pământul este acela care, prin rotația sa, produce răsăritul și apusul cotidian al planetelor și stelelor“. O serie de pasaje par să indice că el a mers chiar mai departe în contestarea viziunii ptolemeice, îndoindu-se că toate corpurile cerești s-ar putea roti în jurul Pământului, dar enunțurile respective nu sînt prea clare (poate de teama teologilor), se mai cer studiate și interpretate. Aryabața a avut continuatori, ca Lalla (secolul al VIII-lea) și Munjala (secolul al X-lea), dar sistemul predominant a rămas în India cel geocentric, despre care Varahamihira (secolul al VI-lea) spunea că a fost adus de la „barbarii (!) yavannas“ (yavannas este forma indiană a termenului ionieni, cum erau numiți grecii în India). Sistemul geocentric avea să-l sintetizeze în forma cea mai înaltă Brahmagupta (secolul al VIII-lea e.n.), unul din cei mai mari astronomi indieni, adevărat Ptolemeu al subcontinentului. Acesta a fost însă și el îngrădit în libertatea sa de gîndire datorită despotismului teologic, care a făcut, în decursul istoriei astronomiei, un rău imens acestei științe, acționînd ca o frînă a ideilor înnoitoare. Marele savant Biruni, care a vizitat mai tîrziu India, seria de pildă că Brahmagupta cunoștea adevăratele cauze ale eclipselor — interpunerea Pământului între Soare și Lună și interpunerea Lunii între Pământ și Soare —, dar era nevoit să vorbească despre „înghițirea“ Soarelui și Lunii de către demonul Rahu: „În ceea ce-i privește pe teologii indieni — observa Biruni — față de ei nu este recomandabil să ai păreri diferite de ale lor, aceasta în vederea siguranței personale“.

Principalii păstrători și cei care au dus mai departe, în perioada evului mediu european, moștenirea astronomică greacă au fost arabii și popoarele din zona predominanței lor culturale. Lumea arabă a constituit, în secolele VIII—XI,

principala purtătoare a progresului științific; aceasta s-a întâmplat după ce, în secolul al VII-lea, arabii au cucerit o mare parte din ținuturile europene ale Mediteranei și au transformat capitala imperiului lor, Bagdad, într-un centru cultural înfloritor, unde observatoarele astronomice erau mai perfecționate decât cele grecești: dezvoltarea cunoștințelor astronomice nu constituia pentru ei (cum nu a constituit nici pentru greci) un lux, ci o necesitate, în lungile lor campanii și călătorii pe uscat și pe mare. E drept, și arabii au avut fanaticii lor și printre ei s-a numărat califul care, printr-o interpretare abuzivă a Coranului, a ars în anul 691 celebra bibliotecă din Alexandria, conținând între altele numeroase lucrări astronomice, considerate „eretice“.

Primul contact, indirect, al arabilor, cu știința vechilor greci, pare să fi avut loc în secolul al VIII-lea, prin traducerea unor cărți indiene care conțineau o învățătură astronomică elină, perfecționată mai ales sub aspect matematic. Ulterior, a început o adevărată vinătoare de manuscrise grecești, traduse în arabă nu numai de arabi, dar și de creștini nestorienți (eretici izgoniți din Bizanț) și de evrei — mari merite în această privință revenind vestitului calif arab Harun al Rașid. Cât de departe mergea această pasiune pentru cărțile grecești se poate vedea din tratatul de pace încheiat de succesorul lui Harun al Rașid, al Mamun (a domnit între 813 și 833) cu împăratul Bizanțului, în care o clauză stipula să-i fie cedate cât mai multe manuscrise grecești. Printre aceste manuscrise s-a numărat și o copie a lui *Megale Sintaxis*, epocalul manual astronomic al lui Ptolemeu. Tradus în limba arabă sub numele de *Al-Madgisti*, denumit mai târziu deformat *Almagesta*, a devenit o carte de căpătii a astronomiei (păstrându-și acest rol și mai târziu, când a fost tradusă în latină). Un exemplar, în limba latină, din *Almagesta* — ediția de la 1528, tipărită la Veneția — se află în fondurile Muzeului Astronomiei Românești.

Așa cum arată marele învățat Al Battani (secolul al IX-lea), lumea musulmană considera în vremea lui astronomia

drept știința cea mai nobilă, cea mai înaltă și cea mai frumoasă. Ea îngăduia „să se contemple puterea lui Allah în organizarea Universului“. Această poziție era prielnică nu numai asimilării cunoștințelor acumulate de cei vechi, ci și observațiilor și cercetărilor creatoare pentru dobândirea de noi cunoștințe, prin inventarea de noi instrumente, elaborarea de tabele astronomice — adesea în colaborare cu savanți creștini și evrei —, descoperiri importante. Astfel, Al Battani (Algategnius) a calculat tabele pentru previziunea pozițiilor Lunii, Soarelui și planetelor, superioare ca precizie celor ptolémeece, corectînd chiar o serie de date din *Megale Sintaxis* privind înclinația eclipticii și precesia. Abul Wefa poate fi considerat ca un precursor al lui Tycho Brahé prin studiul foarte precis pe care îl face asupra mișcărilor Lunii. Observînd extrem de exact stelele, arabii au descoperit ceea ce astăzi știm că reprezintă unul dintre „sateliții“ Galaxiei, pe care l-au denumit „Boul Alb“ (secolul al X-lea). Acesta din urmă este cunoscut astăzi ca norul cel mare al lui Magellan. Tabelele planetare întocmite au prezentat de asemenea un progres notoriu față de lumea antică, printre acestea numărîndu-se cele denumite toledane (Az-Zarquali — Azarquiel, secolul al XI-lea) și cele alfonsine — secolul al XIII-lea (după Alfons al X-lea, regele Castiliei și Leonului) — asupra cărora vom mai reveni însă. O mare valoare au prezentat lucrările mai tîrzii ale lui Ulug-Bek (1394—1449), un astronom și matematician însemnat. Ruinele impresionantului său observator se mai văd și astăzi la Samarkand, în Asia Centrală (U.R.S.S.). Catalogul său stelar a prezentat o realizare de vîrf a astronomiei epocii sale.

Asupra unui aspect important trebuie atras în mod deosebit atenția, căci el este semnificativ pentru căile întortocheate prin care s-a ajuns la actuala imagine a lumii. Preluînd de la greci viziunea geocentrică (pe care o vor retransmite mai tîrziu Europei), arabii și cei din zona lor de locuire și expansiune nu făceau o simplă acțiune de înregistrare și comentare a unui sistem al lumii. În primul rînd, unele din-

tre datele ptolemeice au fost corectate și îmbunătățite, aducându-li-se retușuri care le făceau mai folositoare. Pe de altă parte, traducând lucrările antichității, arabii au luat cunoștință și de „erezile“ lui Heraclid din Pont și ale lui Aristarh din Samos, care contestau teze de bază ale geocentrismului. În sfârșit, chiar dacă geocentrismul a rămas predominant la arabi, unii dintre ei s-au angajat în criticarea sa, ceea ce face din ei precursori ai lui Copernic și chiar ai unor descoperiri ulterioare lui. Astronomul Jabir Ibn Aflah (Geber) și filosoful Ibn Bajja (Avempace) adoptă de pildă o poziție critică față de teoriile lui Ptolemeu. Az-Zarquali, pe care l-am mai amintit, își exprimă și el opoziția față de unele teze ptolemeice; contestând dogma mișcărilor „perfect circulare“ ale planetelor, susține că din datele de observație rezultă că acestea sînt mai curînd eliptice, așa cum avea să dovedească abia Kepler (Copernic a menținut ipoteza orbitelor circulare).

Punctul culminant al poziției critice față de Ptolemeu este atins în lumea musulmană prin arabil de origine persană Mohamed al Biruni (973—1048), spirit enciclopedic, care s-a ocupat de astronomie, matematică, geografie, istorie, mineralogie și filosofie. A efectuat noi măsurători perfecționate ale dimensiunilor Pămîntului, a elaborat metode originale pentru determinarea coordonatelor geografice, a adus puncte de vedere noi în studiul eclipselor. Deși marele său tratat, *Cheia astronomiei*, s-a pierdut, ne-a rămas de la el o mică introducere la această operă. Textul atestă că Biruni era convins că rotirea Soarelui în jurul Pămîntului nu poate fi decît o amăgire. După el, globul terestru se rotește în jurul propriei axe și în jurul astrului zilei. Dacă tratatul însuși s-ar fi păstrat, am ști mai mult despre fundamentul și detaliile concepției sale heliocentrice.

Deși Vechiul Testament — prima parte a Bibliei, preluată de creștini din religia iudaică — este în mod explicit geocentric, Talmudul conține pasaje de orientare heliocentrică, ceea ce îl face pe Isidore Simon să conchidă

În *Istoria generală a științei* (R. Taton) că „talmudiștii afirmă despre planete că se rotesc în jurul Soarelui“, arătând totodată că Moses Ben Maimon — Maimonide — respinge artificial epicleurilor. Unul dintre tratatele *Kabalei*, *Zoharul* (*Cartea strălucirii*), conține un pasaj din care rezultă că „Pământul locuit se rotește ca o bilă“.

Un fapt care desigur nu i-a scăpat lui Copernic, deoarece a stîrnit multă vîlvă în acea vreme, a fost ciudata frază rostită de Alfons al X-lea cel Înțelept (secolul al XIII-lea), care exasperat de complicațiile excesive și de imperfecțiunile la care ducea concepția ptolemeică și mai ales edificiul din ce în ce mai încălțat al epicleurilor și deferențelor, a exclamat: „Dacă, cînd a creat Lumea, Dumnezeu mi-ar fi făcut cînstea de a-mi cere sfatul, multe lucruri ar fi fost create mai bine și, mai ales, mai simplu“. Cheia acestor cuvinte, în care curajul, clarviziunea și ironia se întîlesc, trebuie căutată în faptul că Spania devenise pe atunci un loc de interferență al valorilor civilizațiilor orientale și creștine. Or, Alfons al X-lea reunise la curtea sa un grup de savanți arabi și evrei, de sub conducerea învățatului evreu Isaac ben Said, care alcătuiseră, la cererea sa, noile tabele astronomice pe care le-am amintit — *alfonsine* — foarte utile pentru practică și în primul rînd pentru navigație. Desigur că de la acești învățați împrumutase regele temeiurile frondei sale față de imaginea geocentrică, pe care o oglindea amintita frază. Dealtfel, un secol mai tîrziu, deși cleric creștin, Nicolaus Cusanus (1401—1464) exprima și el idei prea puțin conforme cu concepția dominantă, proclamînd teze de o mare îndrăzneală și profunzime, ca de pildă: „Pământul și celelalte corpuri cerești se învîrtesc în jurul propriei axe, efectuînd și mișcări de revoluție“, sau: „Universul este infinit, deci nu are nici centru, nici circumferință, iar Pământul nu poate fi așezat într-un centru care nu există“. Iată deci formulată nu numai ideea heliocentrică, ci și aceea că Universul nu are nici un centru și nici un hotar, reprezentînd principalul pas înainte pe care concepția despre imaginea

lumii a făcut-o *abia după Copernic*. Dar părerile acestea, oricît de clarvăzătoare și de interesante ca schițări ale unei noi viziuni asupra Universului, nu reprezentau decît puncte de vedere izolate, ce nu aveau nimic de-a face cu concepția predominantă, iar răsunetul lor a fost limitat.

Am ajuns însă ceva prea departe de timp. Ne referisem inițial la acel stadiu al regresului astronomic în care Europa evului mediu timpuriu abandonase aproape cu totul cuceririle grecilor, revenind la rudimente mitice bazate pe Biblie sau pe imagini ale lumii construite arbitrar, în lumina concepțiilor religioase. Acest întuneric nu a putut ține prea mult. Dezvoltarea navigației — și deci a astronomiei nautice —, necesitățile cartografice, cerința de a preciza calendarul (de care și biserica avea nevoie pentru stabilirea sărbătorilor religioase), prefacerile social-economice pe care, începînd din secolul al XI-lea, Europa începea să le cunoască, cereau o studiere tot mai exactă a lumii și în primul rînd un progres simțitor al astronomiei. De aceea, așa cum arabii începuseră să caute înțelepciune în manuscrisele grecești, europenii au început să studieze ulterior cărțile arabe, care conțineau în mare măsură tocmai cunoștințele pe care ei, mai înainte, le repudiaseră din fanatism. Știința arabă pătrunde deci pe un front larg în Europa, mai întîi pe calea legăturilor cu arabii din Peninsula Iberică și de asemenea prin intermediul cruciadelor. Așa a început o nouă perioadă a traducerilor, prin care Europa își regăsește vechea înțelepciune; spre sfîrșitul ei, apare un manual clasic de astronomie pentru universități, inspirat atît din moștenirea greacă, cît și din unele scrieri arabe. Este *Sphaera* lui Ioannis de Sacrobosco, lucrare clară și sistematică, urmată în secolele următoare de o adevărată avalanșă de imitații și comentarii. Numeroase fenomene astronomice, de pildă eclipsele, sînt aci explicate. Un exemplar din *Sphaera* a lui Ioannis de Sacrobosco, însoțit de comentarii — o ediție tirzie, de la 1608 (Paris), ce pare în prezent a fi unicat — se află la Muzeul Astronomiei Românești.

Evident, biserica creștină își vedea pozițiile oarecum zdruncinate. Dar ea a găsit o nouă soluție care, printr-un compromis, să-i asigure dominația. Scolastica a proclamat subordonarea totală a științei de către religie, punind în centrul celei dintii învățătura lui Aristotel și adoptând sistemul lumii așa cum îl concepuse Ptolemeu. Desigur, Terra era acum considerată un corp ceresc, dar ea era socotită imobilă, în centrul lumii, iar orice încercare de a contesta această schemă constituia o impietate. Veșnicia și perfecțiunea corpurilor cerești, caracterul perfect circular al orbiteilor planetare au fost și ele adoptate de scolastică, iar *Megale Sintaxis* — respinsă inițial de religie — a devenit un fel de „carte sfântă“ a catolicismului medieval.

Exigențele tot mai mari pe care practica le ridica în fața astronomiei, mai ales în epoca marilor descoperiri geografice și în era de progres și înnoire a Renașterii, făceau ca abaterile tot mai frecvente între pozițiile prevăzute, pe baza teoriei ptolemeice, ale planetelor și Lunii și cele efectiv observate să devină din ce în ce mai stinjenitoare. Progresul tehnico-științific rapid apărea ca o cerință social-economică stringentă, a cărei purtătoare era în primul rând burghezia în ascensiune. Dar această cerință era sever îngrădită, pe plan astronomic, de faptul că biserica nu înțelegea să treacă dincolo de acceptarea lui Aristotel și Ptolemeu. O serie de astronomi au încercat să soluționeze imperfecțiunile ivite printr-o nouă complicare a schemei ptolemeice, de pildă prin adăugarea de noi epiciiuri. O mare parte dintre savanți s-au cantonat însă în observații, în înregistrarea migăloasă și onestă a faptelor, tot mai îngrijorați că acestea contraziceau adesea previziunile bazate pe teoria planetară ptolemeică. Fără a contesta această teorie, ceea ce era de-a dreptul primejdios, cercetătorii căutau să revizuiască determinarea mărimilor astronomice fundamentale, să verifice minuțios pozițiile și orbitele planetare, căutând să smulgă acestor observații adevărul și să ajungă la previziuni mai

exacte, rămânând în cadrul teoriei geocentrice. În această direcție, determinări importante au făcut astronomii Regiomontanus (1436—1476) și Purbach (1423—1461). Cu sprijinul acestuia din urmă, umanistul Ioan Vitez, episcop de Oradea (1408—1462), a înființat în acest oraș primul observator astronomic cunoscut de pe teritoriul patriei noastre (excepțind „incinta sacră” dacică de la Grădiștea Muncelului, care, într-un fel avea, se pare, și un caracter de observator astronomic primitiv), utilizând, între altele, un „gnomon geometricus” (pentru măsurarea înălțimii stelelor) și „Tabulae Waradiensis” („Tabelele orădane”), pe care astronomul vienez le calculase pentru previziunea eclipselor la meridianul de la Oradea. În secolul următor, învățatul umanist brașovean Johannes Honterus a publicat, în versuri latine, o cosmografie care a servit multă vreme ca manual în școlile din Transilvania și Germania (sînt cunoscute 26 de ediții).

Deși observațiile riguroase se acumulau, deși îndoielile cu privire la exactitatea previziunilor bazate pe viziunea ptolemeică se înmulțeau, rezervele formulate circulînd curent în discuțiile neoficiale dintre învățați, cotitura hotărîtoare pentru progresul astronomiei a venit de la teorie, mai precis de la o nouă abordare a fundamentelor teoretice ale concepției asupra sistemului planetar. Meritul acestei viziuni noi îi revine celui care a înțeles că o teorie planetară heliocentrică va permite o interpretare cu mult mai simplă și mai exactă a observațiilor decît teoria geocentrică preluată de la Ptolemeu. „Actul revoluționar — scrie Friedrich Engels — prin care studiul naturii și-a proclamat independența, repetînd, ca să zicem așa, arderea bulei papale de către Luther, a fost publicarea operei nemuritoare prin care Copernic a declarat război autorității bisericești în problemele naturii — cu timiditate, ce-i drept, și am putea spune, abia pe patul de moarte.” Nicolai Copernic (1473—1543), omul care a înfăptuit sistematic marea răsturnare în concepția despre sistemul planetar, a fost un reprezentant tipic al renascen-

tismului și umanismului. Cunoștea numeroase limbi străine, printre care greaca, latina, polona, germana, italiana etc., a fost nu numai astronom, ci și jurist, medic, administrator, om de stat, canonic, specialist în probleme monetare, pictor și tehnician. După planurile sale, s-au construit fortificații și instalații de alimentare cu apă.

Ce a adus în esență nou concepția copernicană? Ea a creat, mai întâi în mica lucrare manuscrisă *Comentariolus* — de oarecare circulație în lumea științifică —, apoi în monumentalul *De revolutionibus orbium coelestium* (1543) un sistem heliocentric riguros fundamentat științific și în primul rând matematic. Lucrarea *De revolutionibus orbium coelestium*, ediția a II-a, se află și la Biblioteca Academiei R.S.R. din București. Noua teorie, expusă în mod voit într-un limbaj greoi și confuz, pentru a fi accesibilă numai specialiștilor — dovedește că mișcările planetelor se pot explica și prevedea foarte firesc dacă se renunță la teza că Pământul se găsește în centrul lumii, atribuindu-se această poziție Soarelui. Acceptându-se ideea că Pământul se rotește în jurul propriei axe, mișcarea aparentă a stelelor se explică cu mult mai simplu decât dacă se presupune că Pământul este imobil și că mișcarea sferei stelelor „fixe” este aceea care provoacă rotirea diurnă a acestor aștri.

Deși nu și-a însușit decât parțial teoria copernicană, Tycho Brahé a înțeles valoarea epocală a acesteia și a scris versurile rămase celebre:

*Doar la răstimp de veacuri
Zămislește Pământul un asemenea om.
El a oprit Soarele din cursa sa cerească
Și a urnit din loc Pământul nemișcat,
Luna a trimis-o să se învârtă în jurul Terrei,
Și făurii-a o nouă imagine a lumii.*

Cu ajutorul unor raționamente geometrice complexe, Copernic a izbutit să calculeze aproximativ și distanțele dintre Soare și planete. Imaginea sistemului planetar căpăta,

prin aceasta, o nouă precizare însemnată — bineînțeles până la Saturn, care continua să fie cea mai îndepărtată planetă cunoscută și fără acei componenți ai sistemului care nu erau pe atunci măcar bănuți: asteroizii.

În pofida conținutului ei profund revoluționar pentru știință, concepția lui Copernic mai păstra vestigii ale teoriilor eronate din trecut. Astfel, se menținea ideea că Universul are un centru (Soarele), iar acesta era socotit imobil (ca la Ptolemeu Pământul). Sfera stelelor fixe era păstrată — deci ideea că acestea se află toate la aceeași distanță de noi. Iar din punct de vedere practic, cel mai grav era faptul că a fost menținută ideea caracterului perfect circular al orbitelor planetare și a vitezei uniform accelerate a acestor corpuri cerești ceea ce l-a obligat pe Copernic să păstreze epociclurile, deoarece previziunile pozițiilor planetare prezentau și la el imperfecțiuni. Marele adevăr al noii scheme propuse pentru sistemul planetar nu era însă mai puțin esențial. Timp de decenii, ermetismul scrierii fundamentale a lui Copernic și faptul că fusese cu prudență dedicată papei, au împiedicat ca fulgerele bisericii, mai ales a Bisericii catolice, să se abată asupra ei, în timp ce pentru savanți sensul ei ascuns devenea din ce în ce mai limpede. Abia în anul 1616, *De Revolutionibus...* a fost trecută în *Indexul* cărților interzise.

Era însă prea târziu. Viziunea lui Copernic declanșase o adevărată reacție în lanț. Christian Wursteisen (1544—1588) a ținut prelegeri în care a expus teoria lui Copernic, deși nu a îndrăznit să o cuprindă în lucrarea sa de bază. De un curaj exemplar s-a dovedit în schimb filozoful Giordano Bruno (1548—1600), care a combătut scolastica, a propovăduit viziunea lui Copernic asupra sistemului solar și a mers chiar mai departe decât acesta, proclamând pluralitatea lumilor locuite: „Există nenumărați sori. Nenumărate Pământuri se rotesc în jurul lor [...] Este cu neputință ca o minte rațională și cit de cit isteată să poată să-și închipuie că lumile infinite, care se arată a fi atât de minunate, ar fi lipsite de făpturi asemănătoare și chiar mai bune decât noi“. Iar adevărul care se

spune că a fost rostit de pe rugul unde acest geniu al omenirii a cunoscut flacăra Inchiziției în anul 1600, a fost pe deplin confirmat de evoluția civilizației, păstrind o valoare de simbol pentru etica umană: „Pe mine mă puteți arde, dar adevărul spuselor mele nu-l puteți nimici!”

La trei ani după moartea lui Copernic, s-a născut marele astronom Tycho Brahé (1546—1601), care a activat mai întâi în Danemarca și apoi la Praga. Nu s-a putut hotărî definitiv care dintre cele două teorii—geocentrică sau heliocentrică—este mai bună (sau a ezitat din prudență) și s-a situat pe poziția că este nevoie de observații mai exacte pentru a se lua o hotărîre. Și, într-adevăr, observațiile sale excepționale asupra corpurilor cerești au fost de o precizie nemaiîntîlnită pînă la el, făcînd epocă în știința vremii; ele au privit mișcările planetelor și ale Lunii. Tot el a adus prima dovadă sigură că, spre deosebire de ceea ce se credea, cometele nu se află în atmosferă, ci „mult dincolo de orbita Lunii”. Pînă la urmă, Brahé a elaborat propriul său sistem solar „de compromis” în care planetele se rotesc în jurul Soarelui, dar acesta din urmă înconjoară Pămîntul. (Și un transilvănean Israel Hübner, a elaborat un astfel de sistem „de compromis”, în secolul al XVII-lea.)

Marele discipol al lui Brahé a fost Johann Kepler (1571—1630), căruia astronomul danez îi ceruse să dezvolte teoria sa. Din fericire, Kepler nu a ținut seama de această indicație a maestrului, folosind în schimb din plin excepționalele-i observații. Prima sa ipoteză, de valoare capitală, este presupunerea că între orbitele lui Marte și Jupiter mai există o planetă; acolo a fost descoperită, două secole mai tîrziu, centura asteroizilor, așa cum vom vedea detaliat la capitolul respectiv. Dar însemnătatea decisivă a lui Kepler în istoria astronomiei rezidă în perfecționarea schemei planetare a lui Copernic. Într-adevăr, cele trei legi formulate de el (și datorită cărora a și binemeritat porecla de „legiuitor al cerului”) aveau să precizeze considerabil imaginea copernicană. În primul rînd, Ke-

pler a stabilit că planetele nu parcurg orbite circulare, ci eliptice, Soarele aflându-se într-unul dintre focare. În al doilea rând, el a constatat că vitezele planetelor pe orbite sînt variabile și nu uniforme, după poziția ocupată, conform legii: „Suprafețele descrise de raza vectorială a planetei sînt proporționale cu timpul scurs pentru a le descrie“. În baza acestor legi, au fost calculate tabelele planetare „rudolfine“, ale căror previziuni concordau cu observațiile demonstrînd valabilitatea sistemului copernican astfel corectat, care devenea deci, cum s-ar spune cu un termen modern, „operațional“. Totodată, se renunța pentru totdeauna la epicleuri. Cea de a treia lege stabilea legătura dintre perioadele de revoluție și mărimile orbitelor de revoluție, ceea ce, într-o formă elementară, se enunță astfel: „Pătratele perioadelor de revoluție ale planetelor în jurul Soarelui sînt direct proporționale cu cuburile distanțelor medii de la planete la Soare“. Legile matematice fundamentale ale mișcării planetelor fuseseră astfel stabilite. Kepler nu a acceptat totuși ideea justă a lui Bruno că stelele ar reprezenta alți sori, risipiți în întregul Univers, unii dintre ei înconjurați de planete și a rămas la tabloul unei sfere a stelelor fixe, așa cum fusese elaborat încă în antichitate.

Din păcate, Kepler a fost silit, o mare parte a vieții, să se ocupe de lucruri cu totul străine de știință. „Sînt obligat, scria el unui prieten, să scriu și să vînd la curte, pentru a nu muri de foame, almanahuri cu preziceri astrologice, singurele cărți care sînt cumpărate și citite“. În această vreme, cunoștințele astronomice sînt revoluționate de descoperirea lunetei, care a reprezentat pentru astronomie chiar mai mult decît ceea ce microscopul a însemnat în biologie și chimie. Utilizînd o lunetă construită de el, Galileo Galilei (1564—1642), spirit enciclopedic de o rară multilateralitate, a descoperit aspecte cu totul noi și de mare însemnătate ale naturii și structurii Universului: cei patru sateliți mari ai lui Jupiter, aspectul neobișnuit al lui Saturn, fazele planetei Venus, petele solare, munții din Lună, compoziția stelară a Căii Laptelui etc. Nu erau numai fapte noi, ci și realități ce contestau tezele

aristotelice adoptate de scolastică: corpurile cerești nu mai apăreau „perfecte“, Pământul nu mai era unicul centru în jurul căruia gravitau alte corpuri cerești etc. Formulând principiul inerției, învățatul italian excludea implicit ideea „motorului divin“, care ar fi trebuit „să întrețină“ în permanență mișcarea corpurilor cerești. Galilei a fost un adept convins al concepției copernicane, dar pînă la urmă s-a văzut forțat de Inchiziție să nu o susțină, petrecîndu-și ultimii ani ai vieții sub o severă supraveghere.

În aceeași perioadă se produc și alte evenimente astronomice importante. În 1582, sub papa Grigore al XIII-lea, se efectuează o reformă a calendarului. J. Bayer (1576—1625) alcătuiește prima hartă de amplasare a cerului utilizabilă în observații, D. Fabricius (1564—1617) studiază cu rezultate concludente o stea variabilă (Mira Ceti).

Opera multilaterală și profundă a lui Isaak Newton (1643—1727) domină secolul următor, revoluționînd științele naturii, datorită descoperirilor sale fundamentale în domeniul mecanicii și astronomiei. Desigur, ideea gravitației a existat în germene la Leonardo da Vinci, la Kepler, la R. Hooke, ultimul considerînd-o ca o „radiație universală“. Dar Newton este acela care a subliniat că atracția constituie o proprietate a tuturor corpurilor din natură, arătînd că forța care guvernează mișcarea planetelor este identică cu aceea care face ca o piatră aruncată să cadă pe Pământ. Legea atracției universale, formulată de savant, esențială pentru astronomie, postulează că toate corpurile sînt legate printr-o forță unică de atracție reciprocă. Forța de atracție între două corpuri este proporțională cu produsul maselor care se atrag și invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele — lucru la fel de valabil în Cosmos, ca și pe Pământ. Pe lângă această lege a atracției universale, Newton enunță cele trei legi ale mecanicii clasice, care au dominat fizica timp de două secole și ale căror limite au fost relevate abia de teoria relativității. Newton *explicită* sistemul copernican, arătînd că mișcarea planetelor în jurul Soarelui se datorează forței de

atracție a acestuia, extinzind principiul și la mișcarea altor corpuri cerești din Univers. Acestea nu sînt însă singurele descoperiri importante ale lui Newton în astronomie. Tot el a inventat telescopul (bazat pe o oglindă concavă), a elaborat o teorie a anotimpurilor și o teorie a precesiei, a fundamentat teoretic posibilitatea creării unui satelit artificial al Pămîntului, a căutat să explice turtirea Pămîntului.

Kepler și Newton au confirmat astfel valabilitatea teoriei copernicane. Așa cum Brahé i-a închinat un poem lui Copernic, așa a procedat și astronomul Edmund Halley în cel privește pe Newton, dedicîndu-i o odă:

*Acum și-a deschis nepătrunsele adîncuri
Cerul învins! De-acum vom ști ce putere rotește
Lumile toate-mprejur!*

După schițarea acestor vremuri de răscruce din istoria astronomiei, ne vom opri firește asupra altor momente de bază care au adăugat noi elemente la imaginea lumii, așa cum se constituise în secolul al XVII-lea. Progresele astronomiei devin posibile, în mare măsură, datorită continuei îmbunătățiri și a instrumentelor de observație și este vorba nu numai de lunete și telescoape, ci și de crearea primului cerc meridian (O. Römer — 1704 — același savant care a determinat și viteza luminii), ca și de inventarea ceasornicului cu pendulregulator (Christiaan Huygens — 1670); poziția astrilor putea fi acum stabilită cu o precizie mergînd pînă la o secundă de arc. Este totodată vremea construirii celor trei mari observaatoare astronomice, de la Paris, Greenwich și Berlin.

Un alt moment important e cel în care G.D. Cassini (1625—1712) reușește să calculeze, utilizînd cea de a treia lege a lui Kepler, distanța — fundamentală în astronomie — dintre Soare și Pămînt (1672), care avea să devină ceea ce se numește „unitatea astronomică” (U.A.). Era pentru prima dată cînd, pentru un corp ceresc aflat mai departe decît Luna, se determina o distanță relativ precisă (rezultatul de-

terminării era de 140 milioane km, cu numai 10 milioane km inferioară celei reale, dar mult mai mare decât cele presupuse anterior). Pornindu-se de la ea, s-au calculat cu ușurință distanțele până la celelalte planete, pe baza legilor kepleriene, s-a conturat „scara” dimensională a sistemului solar. Un alt progres important pentru cunoașterea sistemului planetar a devenit posibil grație lui Edmund Halley (1656—1742), care a determinat cel dintâi orbitele unor comete în jurul Soarelui (1706), demonstrând periodicitatea lor. Datorită lui, cometele au fost definitiv „admise” în sistemul planetar, ca însoțitori ai Soarelui, după ce timp de milenii în privința lor predominaseră idei greșite.

Cel din urmă catalog stelar realizat fără instrumente măritoare a fost al lui Jan Hevelius (1661). Odată însă cu utilizarea lunetelor și telescoapelor, bogăția astrilor din cataloage a crescut considerabil, seria lor fiind deschisă de cele trei cataloage întocmite de primii trei directori ai observatorului din Greenwich: Flamsteed (1646—1719), Halley și Bradley (1692—1762). Acesta din urmă și-a înscris numele în istoria științei și prin descoperirea, în 1729, a aberației luminii (vezi glosar). O figură de seamă a astronomiei secolului al XVIII-lea a fost Leonard Euler (1707—1783), care a analizat cu finețe complicatele mișcări ale Lunii, precum și perturbațiile observate în orbitele planetare și cometare, formulând idei foarte valoroase.

După Kepler și Newton, mecanica cerească a dominat astronomia teoretică multă vreme. „Problema celor două corpuri” (relativ simplă, fiind vorba de mișcarea a două corpuri cosmice legate între ele prin atracția universală), dar mai ales „problema celor trei corpuri” și „problema a n corpuri” a iscat dezbateri aprinse, în care au intervenit cei mai mari matematicieni și fizicieni ai secolului al XVIII-lea și de la începutul secolului al XIX-lea. Studiul mișcărilor pe care le efectuează corpurile cerești sub influența atracției maselor a devenit din ce în ce mai precis. Sînt de menționat, în această privință, pe lângă Euler, pe care l-am amintit, numele ilus-

tre ale lui A.C. Clairaut (1713—1765), d'Alembert (1717—1783), J.L. Lagrange (1736—1813) și P.S. Laplace (1749—1827). Operă fundamentală a acestuia din urmă, un tratat de mecanică cerească la care a lucrat mai bine de un sfert de veac (1799—1825), este o sinteză magistrală a lucrărilor din acest domeniu, elaborate atât de alții cât și de el însuși. Concepția sa asupra stabilității sistemului planetar prezintă de asemenea un mare interes, ca și teoria sa asupra formării acestuia (I. Kant formulase și el, în 1755, o astfel de teorie).

Siguranța calculelor astronomice ale lui Laplace, care inspiraseră unei întregi generații încredere în puterea științei, devenise atât de renumită, încât într-un rînd Napoleon a ținut să aibă o convorbire cu el. Cînd, între altele, l-a întrebat în ce mod consideră că intervine în procesele cerești voința divină, acesta i-a răspuns mîndru: „Sire, nu am avut nevoie de această ipoteză“. Din fericire, rugul lui Giordano Bruno rămăsese departe în urmă. În secolul al XIX-lea și trei români, Spiru Haret (1851—1912), Const. Gogu (1854—1897) și Nicolae Coculescu (1836—1932) s-au remarcat prin contribuții de seamă în mecanica cerească (ultimul fiind și întemeietorul Observatorului Astronomic din București — 1908). Henri Poincaré (1854—1919) și H. Bruns (1848—1919) au dus mai departe studiile în această direcție, desăvîrșind edificiul mecanicii cerești.

Concomitent cu perfecționarea continuă a mecanicii cerești, observațiile aduceau noi elemente menite să contureze tabloul sistemului nostru planetar, unele dintre acestea de altfel strîns legate de progresele ei. În anul 1781, William Herschel (1738—1822) lărgeste, pentru prima dată după milenii, granițele cunoscute ale sistemului nostru planetar, descoperind o planetă dincolo de Saturn: este vorba de Uranus (1781). Tot Herschel descoperă și doi sateliți ai planetei. Apoi, pe la mijlocul secolului al XIX-lea, mecanica cerească își înscrie cea mai spectaculoasă realizare din istoria ei. Doi astronomi și matematicieni, mai întîi John Couch Adams (1819—1892) și apoi Jean Joseph Leverrier (1811—1877)

deduc, pe baza neregularităților în mișcarea planetei Uranus, orbita unei planete mai îndepărtate. Calculele au fost de o mare complexitate, dar Adams a avut ghinionul să le încredințeze lui Airy, directorul de atunci al Observatorului din Greenwich, care le-a privit cu neîncredere, hărțuindu-l pe tânărul savant cu pretenții inutile de noi precizări. Deși calculele lui Leverrier s-au încheiat cu zece luni mai târziu decât ale lui Adams, el a găsit oameni care să aibă încredere în ipoteza sa. La 19 septembrie 1846. Leverrier a cerut astronomului Johann Galle (1812—1910), care dispunea de hărți cerești detaliate, să-și îndrepte luneta spre o anumită regiune a bolții indicându-i coordonatele unui punct bine determinat. Doar patru zile mai târziu, la 23 septembrie 1846, astrul era descoperit, poziția sa pe cer prezentând o abatere foarte mică față de cea indicată de astronomul francez. Noua planetă a fost botezată Neptun. Continuându-și lucrările, Leverrier a demonstrat că toate planetele sistemului solar se supun pe deplin, în mișcările lor, legii atracției universale și legilor kepleriene. O singură excepție îl intrigă însă, aceea a planetei Mercur. Periheliul lui Mercur prezenta o deplasare de 43 secunde de arc pe secol. Și pentru a explica această neregularitate, Leverrier a mai formulat o previziune, de această dată greșită; existența unei planete perturbatoare între Soare și Mercur, pe care a denumit-o Vulcan. Ipoteza nu s-a confirmat și abia mult mai târziu teoria relativității avea să explice fenomenul deplasării periheliului planetei Mercur.

A urmat, mai puțin spectaculoasă, dar nu mai puțin importantă, descoperirea planetei Pluton. Mai mulți astronomi au încercat să-i stabilească poziția, pe baza perturbațiilor produse în mișcarea celor două planete transsaturniene cunoscute sau a unor comete, William Henry Pickering (1858—1938) propunând chiar denumirea ei: Pluton. Cele mai mari merite în previziunea orbitei lui Pluton îi revin însă lui Percivall Lowell (1856—1916). În anul 1930, Pluton a fost efectiv descoperit, prin astrofotografiere, de către Clyde

Tombaugh. Sistemul planetar cunoscut înregistrase astfel o „expansiune” considerabilă. Raza lui, de 1 428 milioane kilometri (9,55 U.A.) până în 1781, devenea în 1930 de 5 910 milioane kilometri (39,5 U.A.) — deci o creștere de nu mai puțin decît de 4 ori.

Astrofotografia a reprezentat una din cele mai importante descoperiri ale secolului al XIX-lea. Este drept, la început era atît de puțin imperfectă, încît imaginile astronomice desenate pe bază de observații prin lunetă îi depășeau considerabil performanțele (mai ales în ce privește suprafețele planetelor, Lunii și Soarelui), dar cu timpul superioritatea ei a devenit indiscutabilă, permițînd descoperirea a numeroase comete, sateliți ai planetelor, stele, galaxii etc. A fost astfel mult sporită posibilitatea noastră de cunoaștere a Cosmosului.

Imagina sistemului planetar s-a îmbogățit încă de la începutul secolului al XIX-lea și prin descoperirea unei noi categorii de corpuri cerești. Aceștia au fost asteroizii, denumiți și planetoizi (după forma orbitei celor mai mulți dintre ei) sau planete mici (după dimensiunile lor); de istoricul acestei probleme ne ocupăm pe larg la capitolul respectiv, întrucît este strîns legat de însăși natura asteroizilor. Cei mai mulți sînt cuprinși între orbitele lui Marte și Jupiter, dar există și „eretici”, cu orbite de mare excentricitate.

S-au îmbogățit de asemenea cunoștințele asupra unor aștri de mult cunoscuți — cometele. Numărul cometelor descoperite a crescut de la an la an, ele au fost clasificate după forma lor, s-a înțeles caracterul lor instabil (datorită unei mase extrem de mici, în contrast cu volumul lor uneori comparabil cu al Soarelui și a unor cozi comparabile cu distanțele dintre planete). Cometele s-au dovedit a fi membrii cei mai schimbători ai sistemului nostru planetar, ele modificîndu-și înfățișarea la fiecare apropiere de Soare și suferind devieri ale traiectoriei sub influența maselor, mult mai mari, ale planetelor. Structura acestor corpuri cerești, dimensiunile

și alcătuirea nucleelor, capetelor și cozilor au fost precizate prin conceperea unor modele extrem de ingenioase.

În ce privește meteoriții, studiul lor a dus în primul rând la confirmarea (la începutul secolului al XIX-lea) a obârșiei lor cosmice, adesea contestată și la infirmarea definitivă a caracterului „deosebit” presupus corpurilor cerești (și aceasta prin analiză chimică, dovedindu-se astfel unitatea materială a Universului). În al doilea rând, observarea astronomică a identificat existența curenților meteorici, care urmează orbite circumsolare asemenea cometelor, multe dintre aceste fluxuri meteorice provenind din comete în curs de destrămare.

Progrese importante a făcut astronomia de observație și privind Soarele, Luna, planetele. Cu ajutorul lunetelor și telescoapelor, dar și al unor instrumente speciale adecvate cercetării corpurilor cerești respective, care au permis importanți pași înainte, s-au identificat și cercetat formațiunile suprafeței solare, s-au descoperit straturile atmosferei solare, dogma imobilității Soarelui a fost abolită prin descoperirea rotației sale, pe unele dintre suprafețele planetare au fost identificate formațiuni bine definite, care în cazul lui Marte au permis să se întocmească hărți precise și să se stabilească o nomenclatură, iar în cazul lui Jupiter să se observe peteșidungi, a căror natură este încă nesigură. Nenumărați sateliți ai planetelor au fost, rând pe rând, identificați, planeta cea mai bogată în însoțitori dovedindu-se Jupiter. Una dintre cele mai remarcabile descoperiri a fost aceea a sateliților, de numai câțiva kilometri în diametru, ai planetei Marte. Astronomul Asaph Hall (1829—1907) urmarea de multă vreme, la Observatorul din Washington, această problemă, când, la 11 august 1877 s-a hotărât să renunțe. Soția lui l-a îndemnat însă să-și continue cercetările, măcar o singură noapte. Sfatul a fost folositor și chiar în acea noapte memorabilă Hall a descoperit primul satelit al planetei; în același an, l-a identificat și pe al doilea. Poate că și bine inspirata soție ar fi meritat să figureze, alături de savant, pe lista descoperitorilor.

Pentru precizia cu care a fost cercetată telescopic Luna, e caracteristic faptul că geografil se plîngeau, chiar la sfîrșitul secolului trecut, că satelitul natural al Pămîntului este mai exact cartografiat (este vorba de emisfera vizibilă) decît Pămîntul însuși. Un singur exemplu: harta Lunii întocmită de Julius Schmidt în 1878, cu un diametru de doi metri, cuprindea, între alte formațiuni, un număr de 35 856 de circuri. E drept, Schmidt a lucrat la ea timp de 34 de ani...

La capătul acestui paragraf trebuie încheiat un bilanț, care poate fi apreciat ca foarte bogat. Imaginea lumii a ajuns să cuprindă un sistem solar conceput în conformitate cu realitatea sa fizică, avînd Soarele, care se rotește în jurul propriei axe, în centrul său, înconjurat nu de șase, ci de nouă planete, dintre care unele sînt și ele centre în jurul cărora se rotesc sateliți naturali. Printre membri bine precizați ai „familiei” solare, se numără acum cometele, asteroizii, curenții meteorici și, treptat, se nasc primele idei despre compoziția spațiului interplanetar. Au fost stabilite date sigure despre scara de mărime și distanțele din sistemul solar, ca și despre dimensiunile diferitelor corpuri cerești. Mișcările planetelor și ale altor aștri, legile care le guvernează, sînt în ansamblu cunoscute.

Mai rămîn însă și destule enigme a căror dezlegare va aparține perioadei ulterioare; o emisferă a Lunii, invizibilă de pe Pămînt, este încă inaccesibilă, suprafețele și atmosferele planetare ridică numeroase semne de întrebare. Soarele prezintă încă multe probleme neclarificate, existența vieții în Univers e considerată indubitabilă, dar nesigură în ce privește localizarea ei.

5. Descoperirea Galaxiei și redescoperirea sistemului planetar

Acest paragraf cere să ne întoarcem înapoi în timp, căci rădăcinile ideilor și faptelor care au revoluționat știința astronomică a secolului XX și care au readus astronomia în cen-

trul interesului general — așa cum aceasta s-a mai întâmplat doar atunci cînd Galilei și-a îndreptat luneta spre cer, uimind prin descoperirile sale — își au rădăcinile destul de departe în trecut.

Este vorba mai întîi despre astrofizică, ramură a astronomiei care studiază, cu ajutorul metodelor teoretice și experimentale ale fizicii, structura fizică și compoziția chimică a corpurilor cerești și a materiei interstelare, procesele din interiorul astrilor etc. În timp ce astronomia clasică se interesează în principal de direcția din care vine lumina astrilor și de mișcările corpurilor cerești sub influența atracției maselor, astrofizica studiază înainte de toate intensitatea și compoziția spectrală a acestei lumini.

Începînd din a doua jumătate a secolului al XIX-lea, cercetarea naturii fizice și chimice a corpurilor cerești observate și a proceselor fizice care se petrec în interiorul lor, întreprinsă de astrofizică, a devenit un domeniu fundamental al științei astrilor. Utilizarea analizei spectrale a avut în această privință o importanță crucială, un rol de pionier revenind lui J.N. Fraunhofer (1787—1826), care a identificat încă din 1814 peste 500 linii spectrale în lumina solară. Gustav Robert Kirchhoff (1824—1887) și Robert Bunsen (1811—1899) i-au dus apoi lucrările mai departe. Un filozof, Auguste Comte, își exprima deschis părerea că niciodată pămîntenii nu vor putea cunoaște de pe Terra alcătuirea chimică a astrilor, dar analiza spectrală avea să îl dezmințită categoric, identificînd elementele chimice din diferitele zone solare, din atmosfera planetelor, din stele, stabilind că aceste elemente nu sînt diferite de cele cunoscute pe Pămînt. Este știut că un element chimic a fost descoperit mai întîi spectroscopic în Soare și denumit de aceea „heliu“, pentru ca apoi să fie identificat și pe Pămînt. La sfîrșitul secolului al XIX-lea, H.A. Rowland identificase în lumina solară circa 20 000 linii spectrale, iar studiul petelor solare demonstrase că acestea nu au nimic de-a face cu un imaginar „nucleu întunecat“ al Soarelui (cum presupunese de pildă Bessel).

Observarea Soarelui, cea mai apropiată stea, a dus la dezvoltarea fizicii solare, de o deosebită importanță teoretică și practică (la ale cărei rezultate ne vom referi mai detaliat în paragraful despre Soare). Determinarea fenomenelor și proceselor, în general periodice, care alcătuiesc așa-zisa „activitate solară“, înțelegerea structurii și formațiunilor solare, descoperirea cîmpurilor magnetice ale petelor solare și determinarea temperaturii suprafeței solare, teoriile moderne privitoare la geneza energiei radiate de Soare, reprezintă rezultate capitale ale acestui studiu. Cercetările teoretice pentru stabilirea compoziției interne a Soarelui (și implicit a covârșitoarei majorități a stelelor), a zonei inaccesibile optic, au urmat un drum lung și întortocheat. La începutul său, trebuie situată teoria fizicianului Hermann Helmholtz (1821—1894), după care energia solară s-ar datora contracției progresive a masei acestuia (1853), ceea ce ulterior a fost infirmat. În secolul al XX-lea, termodinamica, fizica atomică și teoria cuantelor au intervenit, la rîndul lor, pentru a explica structura solară și stelară. Pînă la urmă, Arthur Eddington (1882—1944) a arătat că energia care se formează în interiorul Soarelui și stelelor este transportată în afară sub formă de radiații. În centrul Soarelui sînt astăzi considerate a exista temperaturi și presiuni imense, materia se află în stări cu totul deosebite, energia ia naștere prin procese nucleare complexe (H. Bethe, C.F. Weizsäcker), a căror esență este prefacerea hidrogenului în heliu. Soarele, stelele au apărut astfel a fi imense „fabrici de heliu“. Astrofizica a propus deci soluții nu numai pentru analiza a ceea ce este vizibil, ci și a ceea ce este invizibil, o victorie de seamă a rațiunii omenești.

Astrofizica a început să diferențieze tot mai detaliat stelele. Pe lîngă stabilirea precisă a strălucirii lor aparente pe boltă, a fost dedusă mărimea lor reală, descoperindu-se că există stele comparabile ca dimensiune cu planetele, în timp ce altele reprezintă sfere în care ar încăpea o mare parte din sistemul nostru solar, ceea ce a contribuit considerabil la

precizarea imaginii lumii. S-a înțeles că diferitele culori și spectre ale stelelor corespund diferitelor tipuri stelare și în general stadiilor lor de evoluție; s-a întreprins studiul novelor și supranovelor — stelele explozive —, observate încă de vechii chinezi, dar cărora li s-a dat în epoca noastră o nouă interpretare, descoperindu-se că de pe urma lor rămân (uneori sau totdeauna?) stele foarte mici și nebuloase în expansiune. Astrofizica a postulat existența unor stele pitice supradense, în care atomii sînt lipsiți de electroni — fiind vorba deci probabil de aglomerări de nuclee atomice. Studiul modelelor stelare constituie astăzi un domeniu important al astrofizicii. La aceasta se adaugă investigarea stelelor variabile — a căror strălucire se modifică periodic —, stelelor duble și multiple, în sfîrșit a pulsarilor și quasarilor, descoperiți în a doua jumătate a secolului al XX-lea (datorită mai ales radioastronomiei), care aduc și ei noi elemente, nebănuite și în parte încă neexplicate, imaginii Universului. Totodată, cercetarea materiei interstelare s-a dovedit a fi unul dintre domeniile cele mai fertile ale astrofizicii. Desigur, toate acestea au devenit posibile și datorită unor instrumente noi sau perfecționării celor vechi: telescoape cu oglinzi pînă la șase metri în diametru, fotografiile efectuate în infraroșu, ultraviolet și în alte radiații, în sfîrșit radiotelescoapele care au deschis investigației un cîmp de cercetare cu totul nou.

Căile pe care fizica a sprijinit astronomia au fost dealtfel dintre cele mai variate. În anul 1842, Christian Doppler (1803—1853) a demonstrat că, în cazul unei surse de vibrație care se apropie de receptor, frecvența vibrațiilor crește, iar cînd sursa se îndepărtează, frecvența scade. Doppler și mai tirziu A.H. Fizeau (1819—1896) au experimentat fenomenul acesta cu vibrații sonore. La sfîrșitul secolului, A.A. Belopolski (1854—1934) a construit un aparat cu ajutorul căruia a dovedit că efectul Doppler-Fizeau se aplică în cazul luminii. Cum frecvența oscilațiilor crește de la roșu la violet, deplasarea liniilor spectrale spre roșu constituie o dovadă a îndepărtării sursei, ceea ce reprezintă o mare importanță în astro-

nomie, permițind măsurări ale mișcărilor și deplasării unor corpuri cerești. La un corp apropiat care se rotește, o margine a sa se apropie, în timp ce cea opusă se îndepărtează, ceea ce înseamnă că lumina emisă de el prezintă în spectru deplasări opuse ale liniilor. În felul acesta, a putut fi măsurată viteza de rotație a Soarelui și a inelelor lui Saturn. Dar efectul Doppler-Fizeau a fost în mod deosebit folosit pentru surse mai îndepărtate, pe baza sa elaborându-se ipoteza, încă neclarificată deplin, a expansiunii Universului.

Vorbind despre succesele astrofizicii stelare, trebuie să pomenim și despre o știință relativ nouă, care s-a dezvoltat în legătură cu ea: fotometria. Desigur, încă din vechime, luminozitatea stelelor i-a preocupat pe învățați. Dar magnitudinile stelelor au fost precizate abia în 1854 de către Pogson. De atunci, au fost elaborate metode fotometrice tot mai exacte, iar instrumentele de măsurare au ajuns la o mare perfecțiune, mai ales de cînd determinările s-au putut face și fotografic (K. Schwarzschild). Un grad superior de precizie a fost adus fotometriei prin aplicarea metodelor fotoelectrice (Guthnik s.a.) Fotometria spectrală — sinteză a două discipline — a permis măsurarea temperaturii stelelor.

O disciplină fundamentală, care a înnoit în secolul al XX-lea viziunea noastră asupra sistemului solar și pe care n-am făcut pînă acum decît s-o menționăm, este radioastronomia. Ea se ocupă cu studiul undelor radio ce ne parvin din Cosmos și care au permis, în ultima vreme, studii interesante despre fenomene și corpuri cerești, ca și alcătuirea unor veritabile hărți cerești radio, comparabile cu cele optice. Tesla și Marconi constatașeră încă de mult existența unor „zgomote de fond” în receptoarele lor. Ei au ajuns chiar să formuleze părerea, care părea foarte îndrăzneată, că aceste zgomote nu au surse terestre, deoarece astfel de surse nu putuseră fi — în nici un fel — identificate. Grăbindu-se să anunțe lumii o descoperire senzațională, Marconi a crezut chiar că este vorba de „mesaje ale marșienilor”, care nu se

cer decît descifrate. Ipoteza n-a prea fost luată în serios şi de aceea şi constatarea iniţială a celor doi renumiţi fizicieni şi tehnicieni a rămas fără vreun ecou deosebit. În 1932 însă, problema a fost pusă din nou pe ordinea zilei. Radiotehnicianul american E.G. Janski îşi vedea mereu tulburate recepţiile de radio pe lungimi de undă de 10—20 metri. Paraziţii îi stînjeneau munca şi de aceea s-a hotărît să-i studieze, pentru a-i diferenţia şi a reduce la tăcere sursa respectivă. Astfel, el a constatat că aceiaşi paraziţi reveneau, pe lungimea de undă de 15 m, după o perioadă de 23 ore şi 56 minute. Stranie coincidenţă! şi-a spus el. Intervalul corespundea tocmai unei zile siderale. Janski şi-a dat ulterior seama că aceasta nu era o coincidenţă, ci dovedea în mod cert originea astrală a paraziţilor (aceaşi paraziţi reveneau atunci cînd antenele sale ajungeau în dreptul aceluiaşi zone ale bolţii). Radiotehnicianul şi-a continuat experienţele. El a stabilit de pildă că intensitatea „emisiunii cosmice” sporea atunci cînd antenele receptoare erau îndreptate spre Calea Lactee, mai precis, spre constelaţia Săgetătorului. Anul 1932 poate fi deci considerat acela în care a luat naştere radioastronomia, iar pînă la începutul celui de-al doilea război mondial au mai fost stabilite şi alte regiuni cereşti din care veneau radiounde — fără însă ca acestor cercetări să li se acorde o însemnătate deosebită.

Zece ani după ce Janski îşi făcuse descoperirea capitală, în februarie 1942, minuiitorii instalaţiilor de radar din Anglia, care urmăreau avioanele hitleriste, au avut şi ei de-a face cu emisiunile cosmice. Înregistrările le erau stînjinite de radiounde misterioase. Oare germanii descoperiseră mijloace spre a „bruia” recepţia? Adevărul era altul. Antenele instalaţiei de radar erau îndreptate spre Soarele care răsărea, iar emisiunea intensă radio a acestuia era în legătură cu apariţia unor mari pete solare. Aşa a fost descoperită emisiunea de unde radio a Soarelui, care a deschis un nou capitol în cercetarea acestui astru. Ulterior, în 1947, tehnicianul de radar J.S. Hey a descoperit o puternică „radiosursă”, denumită

„Lebăda A“, care nu a putut fi multă vreme identificată cu nici o formațiune cosmică. În anii ce au urmat, radioastronomia a luat un mare avânt. Să amintim despre radiotelescopul gigantic intrat în funcțiune în 1957 la Jodrell Bank (Anglia), avînd o oglindă parabolică de 76,20 metri și cîntărind nu mai puțin de 2 000 tone. Radiosemnele recepționate aci provin de la distanțe uneori de miliarde ani-lumină, întrecînd în această privință chiar cele mai puternice telescoape optice. Ulterior, au intrat în funcțiune radiotelescoape mai mari, în diferite țări.

Radioastronomia studiază astăzi în mod curent, în toată complexitatea ei, emisia de unde hertziene a Soarelui, Lunii și a unor planete, precum și a cerului sideral. Despre emisiunea radio care ne vine din Cosmos pe lungimea de undă de 21 cm, s-a prevăzut încă din anul 1944, pe baza unor considerații teoretice, că provine de la hidrogenul neutru interstelar. Ipoteza a fost confirmată în anul 1952, cînd astronomul olandez J.H. Oort, a anunțat, la un congres astronomic internațional, că a reușit să recepționeze această emisiune.

Cu cit trec anii, teoria relativității, ale cărei paradoxuri au stîrnit la începutul veacului atîtea dubii și controverse, își demonstrează fecunditatea și în astronomie. Acest lucru este dovedit și de confirmarea celor trei previziuni astronomice capitale ale lui Einstein. Astfel, am amintit deplasarea, avansul continuu, al periheliului lui Mercur, constatat de Leverrier și atribuit în mod greșit unei planete perturbatoare necunoscute (deoarece nu putea fi explicat în lumina mecanicii newtoniene). Einstein a arătat că efectul amintit este propriu tuturor planetelor, dar e mai accentuat la corpul ceresc cel mai apropiat de Soare, unde cîmpul gravific e cel mai intens; în decursul unui secol, această valoare ar fi de 43,03" la Mercur, 8,6" la Venus și 3,8" la Pămînt. Observațiile au confirmat previziunea, dînd valorile de 43,11", 8,4" și 3,9". În lumina concepției relativiste, orbitele planetare nu mai pot fi astăzi considerate ca elipse perfecte, ci doar ca „pseudoelipse, curbe deschise care se rotesc lent în jurul Soa-

relui" (H. Cuny). Dealtfel, fără mecanica relativistă, mișcările din cuprinsul Cosmosului nici nu mai pot fi astăzi concepute. O importantă teză relativistă este devierea razelor de lumină în apropierea maselor mari. Einstein a prevăzut de aceea devierea (curbarea) razelor de lumină provenite de la stele în câmpul de gravitație al Soarelui, fenomen vizibil de pe Pământ numai în cursul eclipselor totale de Soare (atunci când stelele de pe boltă pot fi observate în apropierea sa imediată). Această ipoteză a putut fi verificată pentru prima oară cu prilejul eclipsei totale de Soare din 29 mai 1919, când stelele vizibile în apropierea astrului zilei au prezentat devierea prevăzută de savant: 1,75 secunde de arc (J.J. Thomson, președintele lui Royal Society, l-a numit atunci pe Einstein „un nou Cristofor Columb al cunoașterii"). Este o concluzie de mare importanță pentru determinările astronomice și chiar pentru conceperea imaginii Universului. Dacă ideea caracterului neregulat al razei de lumină pare paradoxală și mai paradoxală este ideea că mersul fenomenelor care au ritm propriu (de pildă mersul ceasornicelor) este cu atât mai lent, cu cât în vecinătatea lor se află mase ponderabile mai mari. De pildă un ceasornic situat pe Soare ar avea un ritm mai lent decât un ceasornic situat pe Pământ. De aici, Einstein a conchis că liniile spectrale ale radiațiilor produse la suprafața unei mase gravifice mari, de pildă a Soarelui, vor fi deplasate spre roșu în ce privește lungimea lor de undă, față de cele produse pe Pământ, o deducție care a fost și ea confirmată pe deplină. În cazul stelelor pitice supradense, deplasarea spre roșu este, spre exemplu, aproximativ de 20 de ori mai mare decât în cazul Soarelui, ceea ce corespunde calculului einsteinian. Un exemplu îl constituie însoțitorul stelei Sirius (Sirius B). Fenomenul se datorește faptului că atomii aflați în câmpuri gravitaționale puternice emit radiații luminoase cu o frecvență ceva mai scăzută (deci cu o lungime de undă mai mare), decât cele aflate într-un câmp gravitațional mai slab. Cu alte cuvinte, cuanta de lumină care părăsește steaua

trebuie să „se lupte“ cu forța de atracție a astrului și pierde de aceea o parte din energia ei.

Într-o excelentă sinteză a astronomiei moderne, D.H. Menzel, Fred L. Whipple și Gerard de Vaucouleurs (*Survey of the Universe*, 1970) conchid: „În toate aceste trei cazuri, concordanța dintre observații și teorie este satisfăcătoare și poate fi considerată ca o dovadă convingătoare în favoarea teoriei lui Einstein“.

În lumina teoriei relativității, numai într-un spațiu ideal, lipsit de substanță, sînt pe deplin valabile proprietățile euclidiene. Prezența maselor determină proprietățile geometrice ale spațiului fizic și ale timpului, sau, pentru a folosi terminologia relativistă, ale spațiului-timp unic. Însuși modelul Universului este conceput de Einstein ca fiind determinat de influența maselor gravitaționale, curbăt și limitat în mod corespunzător.

Dacă astronomia modernă mai are înrudiri cu cea antică în ceea ce privește schemele privitoare la structura sistemului nostru planetar, ea se deosebește radical de știința celor vechi cînd ne referim la lumea stelelor. Stelele erau prea puțin cunoscute și înțelese în vechime, servind mai mult ca un fel de repere fixe pentru observarea mișcărilor planetelor, Lunii și Soarelui, sau în scopuri calendaristice, ca la egipteni. Este adevărat că și în privința stelelor istoria astronomiei a cunoscut unele viziuni profetice: am amintit, în această privință, ideile geniale formulate de Democrit, Aristarh, Cusanus, Bruno și alți titani ai gândirii astronomice. Dar teza de-ărtării egale a tuturor stelelor — simplistă și rudimentară — concepute mai întîi ca fiind prinse de o emisferă (bolta), iar apoi de o sferă mai îndepărtată, n-a putut fi învinsă decît atunci cînd astronomia, înarmată cu lunete, cu telescoape, precum și cu instrumente de măsură de mare precizie, a trecut la cercetarea efectivă a stelelor. Aceasta s-a întîmplat începînd din a doua jumătate a secolului al XVIII-lea, iar cele aproape două veacuri care s-au scurs de atunci au dus la o radicală schimbare a imaginii lumii, la dezvăluirea unor rea-

lități și a unui tablou de ansamblu cu totul nou. Dacă secolul al XVIII-lea reprezintă doar începutul astronomiei stelare, în secolul al XIX-lea se ajunge chiar la o oarecare preponderență a studiilor stelare asupra celor planetare, pentru ca în secolul al XX-lea această preponderență să devină și mai accentuată, iar inițial să se vorbească chiar de o „monopolizare“ a observatoarelor astronomice de către cercetările stelare.

Secolul al XVIII-lea a dus, cum am arătat, la perfecționarea instrumentelor meridiene. A început căutarea „paralaxelor stelare“ (prin paralaxă stelară se înțelege unghiul maxim sub care s-ar vedea, dintr-o stea, raza orbitei Pământului). Mai precis, cercetătorii se străduiau să descopere anumite deplasări reale (nu aparente) pe boltă ale stelelor mai apropiate în raport cu schimbarea anuală a poziției Pământului pe orbita sa, care să îngăduie *măsurarea distanței pînă la aceste corpuri cerești*. În căutarea paralaxelor stelare, a descoperit Bradley atât aberația luminii — amintită —, cât și nutația axei terestre, așa încît nu se poate spune că cercetările acestea au rămas fără folos, deși scopul pe care și-l propuseseră n-a fost atins.

Secolul al XVIII-lea aduce însă o descoperire epocală: Edmund Halley stabilind în 1718 primele deplasări reale ale stelelor. Folosind aceeași metodă a comparării istorice care îl dusesse la descoperirea sa în domeniul periodicității cometelor, el constată, punînd față în față mai multe determinări ale pozițiilor stelare, că *Sirius și Arcturus nu mai ocupă pe boltă același loc pe care l-au ocupat cu secole în urmă*. Deci stelele săvîrșesc cel puțin mișcări seculare în spațiul cosmic, forma constelațiilor din vremea lui Halley nemaifiind de pildă identică cu aceea din vremea vechilor egipteni. Dogma fixității stelelor se prăbușește.

Trebuie cel puțin amintiți și J.H. Lambert (1728—1777) cu ale sale *Scrisori cosmologice*, și I. Kant (1724—1804), autorul *Istoriei naturale și teoriei cerului*. În această din urmă lucrare, apărută în 1755, Kant concepe stelele ca fiind gru-

pate în sisteme stelare bine diferențiate spațial, dar similare în multe privințe. Încă din 1750, Th. Wright presupunea că aspectul de „inel” stelar al Căii Laptelui este înșelător, că Galaxia are forma unui imens disc plat, care cuprinde Soarele și stelele — această intuiție genială fiind totuși încă vagă și nedemonstrată.

Cu aceasta, iată-ne ajunși la un mare ctitor al astronomiei noi, la Copernicul astronomiei sidérale. Este vorba de William Herschel, considerat adesea părinte al astronomiei stelare. Multă vreme, Herschel a lucrat ca organist. În timpul liber, pasionat pentru știința astrilor, construia telescoape, fără să știe că el va deveni, într-o bună zi, un mare astronom. Se povestește că unul dintre telescoapele sale era atît de uriaș, încît după moartea învățatului familia sa îl comemora intrînd în interiorul instrumentului, care fusese amenajat cu bănci. În 1783, Herschel stabilește un fenomen foarte important — acela al *deplasării sistemului nostru solar* în direcția constelației Hercules, ceea ce reprezintă încă o lovitură dată tezelor aristotelice, încă o noutate importantă în concepția despre lume. Deplasarea Pămîntului în Cosmos nu constă deci numai în rotație și revoluție, ci și în mișcarea sa, odată cu întreg sistemul planetar din care face parte, în direcția unor stele îndepărtate. Cu această descoperire, intrăm în domeniul dezvăluirilor capitale pe care acest savant le-a făcut în știință în cîmpul astronomiei stelare. Herschel este de pildă întemeietorul astronomiei stelelor duble fizice. Pînă la el, se considera că îngemănarea unor stele apropiate era un fenomen de perspectivă optică. Decenii de studii îi îngăduie însă să stabilească că este vorba de stele *legate fizic una de alta*, identificînd porțiuni eliptice ale mișcărilor lor pe orbită care corespund legilor kepleriene. Pentru studiul nebuloaselor, Herschel este de asemenea un părinte de netăgăduit. În catalogul său de nebuloase — primul de altfel în istoria astronomiei — sînt cuprinse nu mai puțin de 2 500 astfel de formațiuni. Întreprinzînd o vastă statistică asupra numărului și strălucirii stelelor, Her-

schel, creatorul statisticii stelare, ajunge să intuiască însăși structura Căii Lactee, a Galaxiei — cum o numim astăzi. Pas cu pas, în baza cercetărilor sale riguroase, savantul transformă apoi intuiția vagă în certitudine și construiește tabloul structurii marii familii stelare, de o formă lenticulară, care este Galaxia.

Odată cu Herschel, se năruie definitiv dogma „sferei stelarilor fixe”, în care crezuse și marele Kepler, acești aștri apărând ca fiind distribuiți la distanțe foarte inegale de noi în spațiul cosmic. Herschel deschide astronomiei ferestre noi spre Univers, îi făurește un nou teren de investigație, un orizont de o largime nemăsurată. Omul își înțelege astfel mai bine locul său în lume, ca și structura și imensitatea Cosmosului care-l înconjoară.

În sfârșit — în 1838 — se determină prima distanță stelară, prin metoda paralaxelor trigonometrice. Autorul acestei descoperiri remarcabile este F.V. Bessel (1784—1846). Datorită preciziei excepționale a determinărilor sale, Bessel reușește să stabilească prima paralaxă stelară, prima distanță pînă la o stea; este vorba de steaua 61 din constelația Lebedei. Gloria descoperirilor sale, Bessel o împarte cu F.G.W. Struve (1793—1864), care în același an izbutește să stabilească în Rusia deplasarea paralactică a stelei Vega din constelația Lira, urmat la scurt timp după aceea de Thomas Henderson (1798—1844), care determină distanța pînă la steaua Alfa din constelația Centaurul, una din stelele cele mai apropiate de noi. A rezultat astfel că dacă o rază de Soare străbate zona noastră planetară în cîteva ore, ea are nevoie de mai mulți ani pentru a ajunge pînă la cele mai apropiate stele. (De fapt, determinarea lui Henderson a fost anterioară celei a lui Bessel, dar el a publicat-o ulterior.)

Fiul lui, William Herschel, John Herschel, președinte al lui Royal Society, i-a oferit cu acest prilej lui Bessel o medalie de aur (1841), scriindu-i în același timp: „Vă felicit și mă felicit și pe mine însumi că am trăit să vedem cum

marea și pînă acum inaccesibila barieră — bariera de care ne-am lovit zadarnic de atîtea ori — a fost trecută, aproape simultan în trei puncte diferite. Este cel mai măreț triumf din cîte a avut vreodată astronomia practică“.

În sfîrșit, spațiul cosmic aflat dincolo de limita planetelor sistemului nostru solar este în felul acesta inclus în zona „măsurabilă“. Determinările se înmulțesc, iar valorile lor ating uneori mărimi impresionante: proporțiile colosale ale distanțelor cosmice apar astfel într-o lumină nebănuită. Astăzi sînt cunoscute cîteva mii de paralaxe stelare, ceea ce a îngăduit stabilirea unei veritabile „hărți“ a distanțelor pînă la stelele aflate relativ aproape de noi. Metoda trigonometrică a paralaxelor stelare nu îngăduie însă să se facă determinări de distanțe dincolo de cîteva sute de ani-lumină. Or, se știe că astăzi au fost determinate nu numai dimensiunile Galaxiei, dar chiar distanțele care ne despart de sisteme stelare aflate la milioane și miliarde de ani-lumină de noi. În acest scop, se aplică alte metode, bazate de pildă pe strălucirea așa-ziselor stele „cefeide“, pe principiul Doppler-Fizeau etc. Ne vom ocupa, în capitole speciale, de determinarea, în secolul nostru, în urma unor investigații, ipoteze și dezbateri rămase celebre (Harlow Shapley [1885 — 1972] și alții), a formei și dimensiunilor exacte ale Galaxiei, de descoperirea rotației ei, de formațiunile, de o extremă varietate, ce o compun (nu numai luminoase, ci și unele absorbitoare de lumină). Să subliniem în orice caz că în decursul cercetărilor a fost spulberată încă o iluzie antropocentrică; aceea că sistemul solar s-ar afla în centrul Galaxiei. De fapt, el se găsește într-o poziție lăaturalnică. Pe baza studiilor radioastronomice, Oort, van de Hulst, Müller și alții au încercat — vom reveni asupra acestei probleme — să schițeze structura spirală a Galaxiei (brațele spiralei galactice, alcătuite din miliarde de stele, fiind cuprinse în adevărate „oceane“ de hidrogen interstelar). Așa s-a născut, grație radioastronomiei, prima „hartă“ (încă incompletă) a Galaxiei. Este de remarcat că o serie de nebuloase au fost identi-

ificate optic abia după ce fuseseră descoperite de radiotelescoape. Formațiuni de felul nebuloasei „Crabul” s-au dovedit a fi radiosurse de mare intensitate. Radioastronomia se pot de asemenea cerceta regiuni foarte îndepărtate ale Galaxiei, care optic nu sînt accesibile, datorită materiei absorbante interstelare și s-a putut preciza poziția nucleului galactic (în constelația Săgetătorului), așa cum vom vedea în capitolul respectiv.

Odată cu începutul secolului al XX-lea, se conturează definitiv ideea — intuită și anterior, cum am văzut — că ceea ce numim sistemul „Căii Laptelui” nu este unicul sistem stelar, că există și nenumărate alte sisteme stelare în Univers.

Încă William Herschel își dăduse seama că unele nebuloase (spirale) observate de el pot fi exterioare Galaxiei, fiind chiar de același ordin de mărime cu ea — o concepție care, deși încă nesigur exprimată, premerge cu peste un secol descoperirile lui E.P. Hubble (1889—1953). (Ideea unor sisteme stelare exterioare Galaxiei, a unor alte galaxii, a mai fost intuită de Kant — nebuloasele ar putea fi, scria el, „alte Universuri“.) Herschel a făcut greșeala s-o renege la sfîrșitul vieții, dar primele sale păreri în această privință rămîn foarte valoroase.) Prin E.P. Hubble, rațiunea umană pășește decisiv dincolo de hotarele Galaxiei noastre. Presupunerea amintită a lui W. Herschel, privind caracterul extragalactic al unor formațiuni cosmice observabile pe boltă, este definitiv confirmată de acesta, Hubble izbutind (1924) să măsoare distanțe pînă la o serie de stele (cefeide) aflate în sisteme extragalactice. Mai mult, el ajunge la concluzia că aceste sisteme stelare sînt de același ordin de mărime ca și Galaxia și că forma lor prezintă de asemenea importante similitudini — deși galaxiile se dovedesc a fi de mărimi, forme, virs-te diferite. Descoperind efectul, astăzi clasic în astronomie, (deși controversat ca interpretare) care îi poartă numele (1929), Hubble formulează teza îndepărtării sistemelor stelare.

Printre obiectele extragalactice studiate radioastronomic, sînt de menționat așa-zisele „radiogalaxii“, care emit unde radio extrem de puternice. Existența acestor formațiuni a fost descoperită de astronomul W. Baade (1893—1960). V.A. Ambartsumian a emis ipoteza că radiogalaxiile — care sînt presupuse a fi galaxii supragigante — se găsesc în condiții speciale de evoluție, într-o fază de tranziție, de o durată relativ redusă. În cursul ei, nucleeele galaxiilor sînt intens active, caracterizate între altele prin emiterea de jeturi puternice, cu eliminarea unor mase apreciabile de substanță, generatoare de noi corpuri cerești.

Limitele Universului observabil telescopic și radiotelescopic, care pînă la hotarele Galaxiei ajunseseră la cîteva zeci de mii de ani-lumină, se extind acum la miliarde de ani-lumină. S-a constatat gruparea galaxiilor în adevărate „arhipelaguri“. S-a stabilit mișcarea galaxiilor și s-au elaborat ipoteze despre evoluția lor. Numai telescopului de pe Muntele Palomar îi sînt accesibile circa un miliard de galaxii.

Totodată, prin revoluția științifică a veacului nostru, ca și prin marele salt înainte pe care îl reprezintă în cea de a doua jumătate a secolului al XX-lea învingerea gravitației și pătrunderea omului în Cosmos, astronomia sistemului planetar cunoaște un interes sporit, fiind totodată substanțial și în mare măsură revizuită și completată. Omul devine creator de corpuri cerești artificiale, trimite sondele sale cosmice la sute de milioane de kilometri distanță. Descoperiri considerate altădată imposibile — de pildă fotografierea și cartografierea emisferei invizibile de pe Pămînt a Lunii — devin realitate. Se descoperă centurile de radiații din jurul Terrei, vehicule spațiale coboară pe planetele Venus și Marte, fotografierea planetei Marte relevă aspecte nebănuite, de pildă circurile marțiene, Jupiter Saturn, asteroizii devin obiecte ale investigației astronautice, se identifică inelele lui Uranus și Jupiter, telescoapele ridicate în Cosmos, dincolo de stîljanitoare barieră atmosferică — uneori în veritabile laboratoare-satelit — relevă fapte tot mai numeroase și

inedite. Dacă pînă în secolul al XX-lea, singurele obiecte cosmice ajunse pe Pămînt, prilejuind un contact direct cu Universul, erau meteoriții, acum omul pune în sfîrșit piciorul pe Lună, primul corp ceresc vizitat. Astronomia neutrinică își face spectaculos intrarea în știința astrilor.

O nouă viziune lărgeste, așa cum vom vedea, considerabil limitele sistemului nostru planetar, căci vîrtejul rotitor al planetelor este conceput ca aflîndu-se cuprins în interiorul unui gigantic nor de comete. Începe, într-un fel, o „redescoperire” a sistemului nostru planetar.

Și, totodată, programe științifice detaliate, ca cel elaborat de specialiști notorii din toată lumea la Biurakan (URSS), caută să trateze, în modul cel mai obiectiv, problema civilizațiilor extraterestre și a posibilului contact cu acestea.



Antiparticula, antisubstanța, antigalaxia sînt astăzi noțiuni mult dezbătute în fizica și astronomia modernă. Este posibil ca ele să existe undeva în Univers, constituind sursa energetică a unor colosale dezlănțuiri cosmice. Ce crucială problemă pentru astronomie: studiul de aproape al acestor fenomene, opuse celor cu care sîntem obișnuiți! Realitatea spațiului deformabil, fenomenele astronomice care confirmă teoria einsteiniană a gravitației, stelele neutronice, modelele de Univers, atît de mult dezbătute, obiectele cvasistelare care au irupt în astronomia celei de a doua jumătăți a veacului XX, controversale privitoare la toate aceste aspecte, au devenit obiecte nemijlocite ale investigației. Navigația cosmică, aflată deocamdată la primii ei pași (încă timizi față de imensitatea Universului, dar cît de îndrăzneți față de mărginirea trecutului!) este chemată și ea să dezlege enigmă după enigmă. Omul iese din „rezervația” sa naturală și, la capătul unei îndelungate evoluții, bate fără sfială la poarta marilor mistere ale Universului.

„Ne simțim excelent!“ raportează adesea cosmonauții. Așa au raportat de pe Lună, așa vor raporta probabil de pe Marte sau de pe un satelit jovian, în viitoarele decenii. Nu-i exclus ca generațiile care ne vor urma să audă glasul semenilor lor ajunși în sistemul planetar ce gravitează în jurul stelei Barnard. Poate că astronautii vor întâlni acolo ființe inzestrate cu rațiune și, cine știe, la fel de inteligente sau mai inteligente decât cele umane. Și, odată cu zborul lor, se va risipi definitiv în neant mitul antropocentrismului — Universul, cu formațiunile lui complexe și priveliștile lui uimitoare, trecînd definitiv în stăpînirea rațiunii. Faptul că omnirea a ajuns în ajunul împlinirii acestor visuri reprezintă o adevărată încoronare a astronomiei. Istoria ei se desfășoară peste milenii, de la primele construcții închinare Soarelui ale oamenilor neoliticului, pînă la racheta fonică proiectată să parcurgă lumea de mîine cu viteze apropiate de aceea a luminii, ducînd în depărtări nesfîrșite mesajul civilizației terestre. Și, după cum remarcă astrofizicianul Fred Hoyle: „În imensa arenă în care Universul își desfășoară spectacolul, aproape că nu există loc pentru rolurile îngemănate ale coincidenței și întîmplării. De la sistemul de galaxii care se întinde pe distanțe enorme, pînă la cea mai umilă dintre planete și pînă la creaturile care ar putea trăi acolo, totul pare cuprins în lanțul solid al cauzelor și efectelor.“

Cheile lumii au deschis larg poarta descifrării Universului. Dar fără îndoială că sînt necesare mult discernămint și evitarea oricărei pripeli. Să reținem, de aceea, în final, și avertismentul pe care îl dau, în amintita lor lucrare de sinteză, cunoscuții astronomi Menzel, Whipple și Vaucouleurs: „Progresul în înțelegerea Universului depinde în mai mare măsură de sudarea cu succes a legilor fizice cunoscute, decât de inventarea de concepte cu totul noi și uneori cu totul nefundamentate. Lumea este complexă și nu trebuie să ne așteptăm să-i pătrundem semnificația deplină dintr-o

ochire. Muncă multă și grea stă în fața viitoarelor generații de astronomi care slujesc această știință străveche, dar mereu viguroasă și în plină dezvoltare“.

BIBLIOGRAFIE*

- Fred Hoyle, *From Stonehenge to Modern Cosmology*, New-York, 1972.
M. Bailly, *Histoire de l'Astronomie ancienne*, Paris, 1775.
C. Flammarion, *Histoire du ciel*, Paris, 1872.
Paul W. Hodge, *The Revolution in Astronomy*, New-York, 1970.
E. M. Antoniadi, *Astronomie égyptienne*, Paris, 1934.
Friedrich Engels, *Dialectica naturii*, București, 1959.
Paul Couderc, *Les étapes de l'astronomie*, Paris, 1948.
Peter Doig, *A Concise History of Astronomy*, London, 1956.
A. Pannekoek, *History of Astronomy*, London, 1961.
Giorgio Abetti, *The History of Astronomy*, London, 1954.
Theories of the Universe. From the Babylonian Myth to Modern Science
(Writings selected by Milton K. Munitz), Glencoe-Illinois, 1971.
Fred Hoyle, *Ten Faces of the Universe*, San Francisco, 1977.
Ph. de la Cotardière, *La découverte du cosmos...*, Paris, 1975.
C. F. Weizsäcker, *The History of Nature*, Chicago, 1949.
Istoria generală a științei, Publicată sub conducerea lui René Taton,
vol. I, II, III, IV, București, 1971, 1972, 1973, 1976.
Willy Ley, *Observatorii cerului*, București, 1968.
G. I. Perel, *Dezvoltarea concepțiilor despre Univers*, București, 1964.
Jacques Merleau-Ponty, *Les trois étapes de la cosmologie. Comment a évolué la conception de l'Univers*, Paris, 1971.

* Bibliografia de față, ca și cele de la capitolele următoare, cuprinde atât lucrări de specialitate, cit și lucrări pentru nespecialiști, dornici de a-și lărgi informația.

- Source Book in Astronomy 1900—1950*. Harlow Shapley editor. (Source books in the History of Sciences), Cambridge, Massachusetts, 1960.
- Dicționar de astronomie și astronautică* (coordonator Călin Popovici, autori: Călin Popovici, George Stănilă, Emilia Țifrea, Florin Zăgănescu), București, 1977.
- Razvitie astronomii v S.S.S.R.*, Moskva, 1967.
- Ștefan C. Hepites, *Schiță istorică a lucrărilor astronomice în România*, București, 1902.
- Const. Pîrvulescu, *Tablou sinoptic al evoluției astronomiei în România*, Cernăuți, 1937.
- Nicholas Copernicus, *Complete Works*, vol. I, *The Manuscript of Nicholas Copernicus, On the Revolutions. Facsimils*, London, Warsaw, 1972.
- Copernicus Nicolaus, *De revolutionibus orbium coelestium* (ed. bilingvă, latină și germană), Berlin, 1959.
- Nicolaus Copernicus, 1473—1973*, Berlin, 1973.
- K. L. Baev. *Sozdateli novoi astronomii. Kopernic, Bruno, Kepler, Galilei*. Moskva, 1948.
- E. Rybka, *Four Hundred Years of Copernican Heritage*, Cracow, 1964.
- Gerhard Harig, *Die Tat des Kopernikus. Die Wandlung des astronomischen Weltbildes im 16. und 17. Jahrhundert*, Berlin—Leipzig, 1962.
- Galileo Galilei, *Dialog despre cele două sisteme ale lumii, ptolemeic și copernican*, București, 1962.
- Giordano Bruno, Galilei, Campanella, *Texte filozofice*, București, 1951.
- Ștefan Bălan, *Galileo Galilei*, București, 1957.
- Isaac Newton, *Principiile matematice ale filozofiei naturale*, București, 1956.
- Immanuel Kant, *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*, Berlin, 1955.
- A. Berry, *A Short History of Astronomy*, London, 1961.
- G. de Vaucouleurs, *Discovery of the Universe. An Outline of the History of Astronomy from the Origin to 1956*, New-York, 1957.
- Pierre Busco, *L'évolution de l'astronomie au XIX-e siècle*, Paris, 1912.

- Hilaire Cuny, *L'Astronomie d'aujourd'hui*, Paris, 1961.
- J. Gauzit, *Les grands problèmes de l'astronomie*, Paris, 1957.
- Günther Buttmann, *W. Herschel. Viața și opera*, București, 1971.
- B. G. Kuznețov, *Evoluția imaginii științifice a lumii*, București, 1962.
- A. Einstein și L. Infeld, *Evoluția fizicii*, București, 1957.
- Jules Sageret, *Le système du monde, de Pythagore à Eddington*, Paris, 1931.
- B. A. Voronțov-Veliâminov, *Očerki istorii astronomii v Rossii*, Moskva, 1956.
- Const. Drîmbă, *Elemente de mecanică cerească*, București, 1958.
- George Abell, *Exploration of the Universe*, New-York, 1964.
- W. M. Smart, *Foundations of Astronomy*, London, New-York, 1946.
- Francis J. Carmody, *Arabic Astronomical and Astrological Sciences in Latin Translation*, Berkeley and Los Angeles, 1956.
- Donald H. Menzel, Fred L. Whipple, Gerard de Vaucouleurs, *Survey of the Universe*, Englewood Cliffs-New Jersey, 1970.
- Călin Popovici, *Științele extraterestre în sistemul științelor*, în *Studii și cercetări de astronomie*, nr. 1, 1971.
- Hector C. Ingrao, *New Techniques in Astronomy*, New-York, 1971.
- J. Dick, *Die Geschichte des Fixsternhimmels*, Leipzig, 1953.
- Heinrich Prell, *Die Vorstellungen des Allertums von der Erdumfangslänge*, Berlin, 1959.
- Charles Fabry, *Physique et astrophysique*, Paris, 1935.
- D. R. Dicks, *Early Breef Astronomy to Aristotel*, London, 1970.
- R. D. Davies, H. P. Palmer, *Radio Studies of the Universe*, London, 1959.
- J. D. North, *The Measure of the Universe. A history of Modern Cosmology*, Oxford, 1965.
- Pierre Duhem, *Le système du monde. Histoire des doctrines cosmologiques, de Platon à Copernic*, Tome VII, Paris, 1956.
- Daniel Norman, *The Development of Astronomical Photography*, Bruges, 1938.
- Ernest Lebon, *Histoire abrégé de l'astronomie*, Paris, 1899.
- Troels-Lund, *Himmelsbild und Weltanschauungen im Wandel der Zeiten*, Leipzig, 1900.

- F. Boquet, *Histoire de l'Astronomie*, Paris, 1925.
- A. I. Eremeeva, *Vidaiașiesia astronomi mira*, Moskva, 1966.
- Camille Flammarion, *L'Astronomie et ses fondateurs*, Paris, f.a.
- S. I. Seleşnikov, *Astronomia i kosmonautika. Kratkii hronologiceskii spravocinic*, Kiev, 1967.
- Edmund Hoppe, *Mathematik und Astronomie im klassischen Altertum*, Heidelberg, 1911.
- Clyde Tombaugh, *The Trans-Neptunian Planet Search*, în vol. II *Planets and Satellites*, Chicago, 1960, din „The Planet System“.
- Ernst Zinner, *Geschichte der Sternkunde*, Berlin, 1931.
- Will Durant, *Histoire de la civilisation*, Paris, 1937, vol. I, II.
- I. M. Ştefan şi V. Ionescu-Vlăsceanu, *Momente şi figuri din istoria astronomiei româneşti*, Bucureşti, 1968.
- A. Oparin şi V. G. Fesenkov, *Viata în Univers*, Bucureşti, 1961.
- II. V. Sadikov, *Biruni i evo raboti po astronomii i matematiceskoi gheografii*, Moskva, 1953.
- J. Seivert, *Nachrichten von siebenbürgischen Gelehrten und ihren Schriften*, Pressburg, 1785.
- Ion Corvin Singeorzan, *Zece ore de astronomie*, Bucureşti, 1963.
- I. M. Ştefan, *Precursori orientali ai sistemului copernican*. Comunicare prezentată la Asociația de Studii Orientale din R.S.R. la 31 martie 1973 (mss.).
- S. K. Vsehsviatski, *Cum a cunoscut omul Universul*, Bucureşti, 1955.
- Robert Baker, *An Introduction to Astronomy*, Princeton, 1961.
- Yves Thiry, *Les Fondaments de la Mécanique Céleste*, Paris-London-New-York, 1970.
- A. Boischot, *La radioastronomie et son apport nouveau à la connaissance de l'Univers*, Paris, 1960.
- A. Einstein, *Teoria relativității*, Bucureşti, 1957.
- Stamatios Mavrides, *L'Univers relativiste*, Paris, 1973.
- A. Spitz, F. Gaynor, *Dictionary of Astronomy*, London, 1959.
- Joachim Hermann. D.T.V., *Atlas zur Astronomie*, München, 1973.
- Paul V. Hodge, *The Revolution in Astronomy*, New-York, 1970.
- N. I. Dinulescu, *Astronomie fundamentală*, Bucureşti, 1968.
- Dumitru Şt. Andreescu, *Breşe adinci în infinit*, Bucureşti, 1977.

- Victor Anestîn, *Cronologie astronomică*, în *Orion*, mai, 1908.
- Victor Anestîn, *Pentru observatorul astronomic*, în *Orion*, aprilie, 1910.
- Gheorghe Cantacuzino, *Necropola preistorică de la Cernica și lotul ei în neoliticul românesc și european*, în *Studii și cercetări de istorie veche*, nr. 3, 1967.
- Bernhard Jacobi, *Verweht und ausgegraben*, Leipzig, 1970.
- Călin Popovici, *Observații optice ale satehților artificiali*, în *Studii și cercetări de astronomie și seismologie*, nr. 2, 1958.
- Monica Oprescu, *Concepții cosmologice în arta românească*, în *Andromeda*, nr. 1—2, 1970.
- G. Vlăduțescu, *Totemismul*, București, 1968.
- Ion Corvin Singeorzan, *Probleme privind preistoria astronomiei*, în *Andromeda*, nr. 1 — 12, 1970.
- Claude Lévi-Strauss, *Gîndirea sălbatică*, București, 1970.
- Nicolae Lungu, *Din istoria cercetării astronomice în orașul Oradea*, în *Lucrări științifice*, Oradea, 1968.
- Muzeul astronomiei românești*, în *Ghidul muzeelor din România*, București, 1972.
- Petre Bonfideanu, *Amiralul Vasile Urseanu — personalitate de seamă a marinei noastre — președinte al Societății Astronomice Române și fondatorul, în 1909, al actualului Observator astronomic popular*, în *Andromeda*, nr. 1—2, 1970.
- Vasile Mioc, Damaschin Mioc, *Cronica observațiilor astronomice românești*, București, 1977.
- Rolf Müller, *Der Himmel über dem Menschen der Steinzeit*, Berlin-Heidelberg, 1970.
- G. Demetrescu, *Observatorul astronomic din București*, în *Studii și cercetări de astronomie*, nr. 1, 1966.
- Const. Drămbă, *Observatorul astronomic din București. Din istoricul observatorului*, în *Studii și cercetări de astronomie*, nr. 2, 1966.
- C. I. Gulian, *Originile umanismului și ale culturii*, București, 1967.
- Rolf Müller, *Sonne, Mond und Sterne über dem Reich der Inka*, Berlin-Heidelberg, 1972.
- H. Seidentopf, *Gesetze und Geschichte des Weltalls*, Tübingen, 1961.

II. COSMOSUL APROPIAT

A. SISTEMUL PLANETAR ÎN ANSAMBLUL SĂU

1. Fapte și date

Am încercat să schițăm istoria descoperirii Universului de către om și este acum firesc ca ghidul nostru să ne călăuzească în sesizarea structurii sale, pe cât a putut fi înțeleasă pînă acum. Începutul trebuie firește făcut prin cîteva considerații asupra a ceea ce se numește adesea „Cosmosul apropiat”, sistemul solar (sau planetar), din care facem parte.

Pentru a ne orienta asupra sistemului planetar, prima problemă care se pune este aceea a cunoașterii poziției sale în Univers. Nici teza lui Ptolemeu, care presupunea în centrul lumii Pămîntul, nici cea — mai aproape de adevăr — a lui Copernic, care presupunea în centrul lumii Soarele, nu dădeau în această privință răspunsuri care să ne mai poată satisface. Universul nu are nici un centru. Secolul al XX-lea a început să formuleze un răspuns care devine din ce în ce mai complet, cu cît cunoaștem mai profund structura Universului, încă destul de enigmatică. Putem de pildă preciza poziția sistemului solar în cadrul Galaxiei, o realizare cu totul imposibilă pentru știința de acum un veac. El se află la cca. 30 mii ani-lumină de nucleul galactic, mai exact pe unul dintre brațe, așa cum se vede din cele două schițe ale mării spirale cosmice, reproduse după M.A. Ellison (fig. 10). Sistemul solar ia parte la o uriașă mișcare de revoluție în jurul centrului galactic și în același timp efectuează o deplasare în raport cu stelele apropiate — mișcări despre ale căror date vom da precizări la paragraful privitor la Soare din capitolul de față.

Este greu de spus în ce măsură sistemul nostru solar reprezintă un model pentru alte sisteme planetare din Gala-

xie. În orice caz, structura generală a sistemului din care face parte planeta pe care locuim ne este astăzi bine cunoscută. Atracția Soarelui determină mișcarea tuturor corpurilor care îl înconjoară și pe care le menține pe orbitele lor (numai în ceea ce privește sateliții, forța principală de atracție o constituie planetele).

Care sînt constituenții sistemului ce are în centru Soarele? În primul rînd, cele 9 planete cunoscute, care dinspre Soare spre exterior sînt: Mercur, Venus, Pămîntul, Marte, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun și Pluton. Apoi, un număr de 35 sateliți naturali ai planetelor, cîți au fost descoperiți pînă acum. Cu mult mai numeroși, probabil cîteva zeci de mii, sînt asteroizii, majoritatea rotindu-se într-o „centură” situată între Marte și Jupiter. Și mai numeroase sînt corpurile meteorice, cele mai multe grupate în curenți care înconjoară Soarele pe orbite eliptice, imensa lor majoritate de dimensiuni foarte mici. În sfîrșit, să nu uităm cometele, poate cele mai stranii și schimbătoare corpuri cerești ce înconjoară sistemul solar, cu capete enorme și cozi uneori de sute de milioane de kilometri în preajma Soarelui, care se restrîng la un conglomerat de gaze înghețate și pietre, de abia cîteva kilometri, cînd s-au depărtat de astrul zilei.

Între aceste corpuri cerești, care ocupă doar o fărîmă a spațiului pe care-l străbat, se află mediul interplanetar, de o structură complexă (pulberi, radiații, cîmpuri magnetice etc.), în orice caz departe de a constitui „vidul” presupus altădată.

2. Membrii sistemului solar

Să facem cunoștință mai îndeaproape cu membrii familiei Soarelui, indicînd unele date fundamentale — precis determinate sau numai evaluate.

CORPURILE CERESTI DIN SISTEMUL SOLAR

Corpul ceresc	Număr	Masă totală (în mase terestre)	Diametru (în km)	Orbite	
				Excen- tricitate medie	Încli- nație medie
Soarele	1	333 mii	1,392 mil.	—	—
Planetele	9	447,9	142800— 4800	0,081	4°
Satețiții	35	0,12	5800—10	—	—
Asteroizii	40—140 mii (?)	0,01—0,1	770—0,5	0,15	10°
Cometele	10 milioane pînă la 10 miliarde	0,1	1—100 (nucleul)	0,56—1	18° (la cometele cu peri- oadă scurtă)
Curenții meteorici	30	0,000.000.001	(al unei particule) 0,01 mm- cîțiva metri)	—	—

Unele observații și precizări se impun.

Deși dispoziția și structura generală a sistemului planetar sînt astăzi binecunoscute, reprezentarea sa pe o schiță este foarte greu de realizat. Aceasta în primul rînd fiindcă între Soare și planete diferențele de dimensiune sînt atât de mari (între 1 392 mii și 4,8 mii km diametru), încît cuprinderea lor pe același desen nu este posibilă. În al doilea rînd, fiindcă dacă reprezentăm orbitele planetelor depărtate — începînd cu Jupiter și pînă la Pluton — pe o planșă, orbitele planetelor mai apropiate de Soare apar prea mici pentru a mai putea fi diferențiate. Dacă, invers, reprezen-

tăm orbitele plănetelor apropiate — de la Mercur la Marte —, orbitele celorlalte planete sînt prea vaste pentru a încăpea pe desen. Se obișnuiește de aceea ca Soarele și planetele să fie reprezentate prin sfere de dimensiuni convenționale, iar orbitele planetare să fie înfățișate pe două schițe separate. Aceasta arată, între altele, încă o dată, vastitatea mediului interplanetar, față de volumul ocupat de Soare, planete, asteroizi și comete: în spații imense sînt presărate, la distanțe mari, corpuri cerești foarte mici față de intervalele dintre ele.

În general, masa sistemului planetar este inegal distribuită între diferitele corpuri ce îl alcătuiesc. Mai bine de 99% din această masă este monopolizată de Soare. Totodată, diametrele corpurilor cerești variază între fracțiuni de milimetri și peste 1 milion kilometri. Și în privința volumului corpurilor sistemului planetar, concentrarea în Soare a unei părți covârșitoare a acestuia este un fapt cunoscut (doar capetele unor comete uriașe se măsoară, în apropierea astrului zilei, cu Soarele, în ce privește mărimea). Pe de altă parte, singurul corp ceresc cu lumină proprie este Soarele; celelalte corpuri cerești ale sistemului reflectă sau absorb și reemănă lumina sa (acest al doilea caz este valabil — parțial — la comete). Radiația puternică a Soarelui determină bilanțul energetic al celorlalți membri ai sistemului — aportul altor aștri cu lumină proprie, ca stelele, fiind insignifiant, din pricina depărtării. Aceasta, deși cea mai mare parte a radiației solare nu „nimereste” planetele, ci se pierde în Cosmos.

După Soare, planetele sînt, fără îndoială, membrii cei mai importanți ai „familiei” solare. În total, cele 9 planete au nu mai puțin de 447,9 mase pămîntesti. Și în cazul lor, avem însă de-a face cu o foarte inegală distribuire a maseilor: Jupiter, de pildă, monopolizează cca. 70% din acest total.

Diametrele planetelor variază între 4,8 mii și peste 140 mii kilometri. Pentru a face mai palpabilă această ordine de

mărimi și distanțe, să ne fie îngăduită o comparație. Dacă am micșora tot sistemul solar de un miliard de ori, principalele corpuri cerești s-ar prezenta astfel:

- Un glob de 1,4 m (diametru) în centrul sistemului
- *Soarele* —
- Un bob de mazăre de 5 mm, la 58 m de Soare — *Mercur*
- O cireășă de 13 mm, la 108 m de Soare — *Venus*
- O cireășă de 13 mm, la 149 m de Soare — *Pământul*
- Un bob de mazăre de 7 mm, la 228 m de Soare — *Marte*
- O nucă de 144 mm, la 778 m de Soare — *Jupiter*
- O nucă de cocos de 121 mm, la 1400 m de Soare — *Saturn*
- Un măr de 53 mm, la 2 900 m de Soare — *Uranus*
- Un măr de 50 mm, la 4 500 m de Soare — *Neptun*

Nu includem deocamdată în această listă pe Pluton, ale cărui dimensiuni continuă să fie foarte controversate.

Pentru a parcurge distanța Soare-Pământ, o rază de Soare are nevoie de 8 minute și 18 secunde, în timp ce pentru a străbate distanța Soare-Pluton (aproape 6 miliarde de kilometri) zăbovește nu mai puțin de 5 1/2 ore. Principala măsură în cadrul sistemului nostru planetar este unitatea astronomică (prescurtat U.A.), care reprezintă distanța Soare-Pământ.

Până în momentul istoric când Galilei a îndreptat luneta pentru întâia oară spre cer, erau cunoscute 6 planete (planetele vizibile cu ochiul liber, după care încă din antichitate au fost denumite zilele săptămânii) și un satelit natural — Luna. Astăzi, cum se știe, au intrat în raza cunoașterii 9 planete și 35 sateliți. Însuși Galilei a descoperit cei patru sateliți mari ai lui Jupiter, dar cei mai recentți doi au fost identificați în ultimul deceniu.

Se poate considera că lista e închisă? Nicidecum. Existența unei planete mai apropiată de Soare decât Mercur și tocmai de aceea greu vizibilă (intramercuriene), presupusă

DATE FUNDAMENTALE ASUPRA

	Mercur	Venus	Pământul	Marte
Diametrul ecuatorial (în km)	4878(?)	12100	12757	6748
Diametrul ecuatorial (Păm. = 1)	0,38	0,95	1	0,53
Turtirea	0	0	1/298	1/125(?)
Durata rotației	59,7 z(?)	243 z(R)(?)	23h 56 m	24h 37 m
Inclinația ecuatorului față de orbită	0°(?)	2°7'	23°27'	23°59'
Volumul (Păm. = 1)	0,054	0,901	1	0,150
Volumul (mil. km ³)	58500	976071	1083320	162498
Masa (Păm. = 1)	0,055(?)	0,817	1	0,108
Densitatea (Apa = 1)	5,46(?)	5,10	5,52	3,97
Densitatea (Păm. = 1)	0,98(?)	0,91	1	0,72
Forța de atracție (Păm. = 1)	0,39	0,89	1	0,38
Accelerarea gravitației la supr. (cm/s ²)	392	863	981	365
Viteza de eliberare (evaziune) la supr. (km/s)	3,8	10,4	11,2	5,1
Temperatura medie diurnă (°C)	+320— —100	450—530(?)	+20	—0
Componentele de bază ale atmosferei	?	CO ₂	NO	CO ₂
Numărul sateliților	—	—	1	2
Albedo	0,055	0,64	0,39	0,154
Magnitudinea aparentă	—1,8	—4,4	—	—2,8

PLANETELOR (I)

Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun	Pluton
142880	120960	47170	46000	4700— 13600(?)
11,20 1/15 9h 50 m	9,48 1/9,5 10h 14m	3,70 1/14(?) 10h 42m(R)	3,53 1/45(?) 15h 48m	? ? 6z 9h(?)
3°4'	26°44'	98°	29°	?
1310	769	50,6	43	?
1419149200 318,4	933073080 95,23	54815992 14,58	46552760 17,26	? 0,18(?)
1,31	0,69	1,70	2,30	?
0,24	0,12	0,29	0,40	?
2,35	0,93	0,99	1,38	?
2590	1040	903	1373	?
61,6	36,7	21,6	23,8	?
—120—150	—170	—180	—210	—270(?)
H, He, NH ₃ CH ₄ , N ₂ O ₄	H, He, NH ₃ CH ₄	CH ₄ , H	CH ₄	?
14 0,42	11 0,45	5 0,46	2 0,53	? ?
—2,5	—0,4	+5,7	+7,6	+14,5

DATE FUNDAMENTALE ASUPRA

	Mercur	Venus	Pământul	Marte
Distanța medie de Soare (mil. km.)	57,91	108,21	149,6	227,9
Distanța medie de Soare (U.A.)	0,39	0,72	1	1,52
Dist. minimă de Soare (mil. km.)	46	107,5	147	207
Distanța maximă de Soare (mil. km.)	70	108,9	152	249
Distanța minimă de Pământ (mil. km.)	76,77	37,24		54,27
Distanța maximă de Pământ (mil. km.)	220	260		399
Durata revoluției siderale pe orb. (ani și zile ter.)	87,98 z	224,7 z	365,26z	1 an 321.7z
Viteza medie pe orbită (km/sec.)	47,89	35,04	29,80	24,14
Revoluția sinodică	115,9z	1 an 218z	—	2 ani 49z
Excentricitatea orbitei	0,206	0,007	0,017	0,093
Înclinația orbitei față de eliptică	7°0'	3°24'	0°	1°51'
Semiaxa mare a orbitei (U.A.)	0,38710	0,72333	1	1,52368

incă de Leverrier (botezată de el Vulcan) este foarte discutabilă, dar existența unei planete transplutonice apare mai probabilă. Putem cu drept cuvint să ne întrebăm care va fi numărul ce va fi cuprins în statistica planetelor și sateliților peste un secol sau două. În 1977, astronomul C. Kowall

PLANETELOR (II)

Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun	Pluton
778,3	1428	2872	4498	5910
5,20	9,55	19,5	30,09	39,5
741	1350	2742	4463	4420
816	1509	3008	4545	7380
585	1237	2568	4274	4349
902	1648	3135	4738	7551
11 ani 314,8z 13,06	29 ani 167z 9,64	84 ani 7z 6,80	164 ani 280z 5,43	247 ani 249z 4,74
1 an 37z 0,048	1 an 13z 0,056	1 an 4,4z 0,046	1 an 2,2z 0,009	1 an 1,5z 0,250
1°19'	2°30'	0°46'	1°47'	17°10' (?)
5,20256	9,55475	19,2181	30,1096	39,44

a presupus că a descoperit o nouă planetă, între Saturn și Uranus, botezind-o Chiron; de fapt, era un asteroid.

Caracteristicile planetelor pot fi urmărite în cadrul tabelelor prezentate (în care mai sînt, e drept, și multe date nesigure, supuse controversei).

Toate planetele au forme apropiate de aceea a unei sfere, mai mult sau mai puțin turtite la poli. Observate prin lunetă sau telescop, planetele apar ca niște discuri, spre deosebire de stele, care apar punctiforme. Privite pe boltă, ele nu scînteiază, mai bine zis scînteiază foarte slab, spre deosebire de stele, care scînteiază mai intens. În ce privește strălucirea planetelor, Venus este (dacă facem abstracție de Soare și Lună) cel mai strălucitor astru al cerului, în timp ce Marte și Jupiter sînt uneori mai strălucitori decît cea mai luminoasă stea, Sirius, iar Mercur și Saturn ating uneori strălucirea lui Arcturus; în general, strălucirea planetelor nu este constantă, modificîndu-se după distanța lor față de Pămînt, după evoluția fazelor lor, după puterea de reflectare a razelor solare (așa-zisul albedo) etc. Uranus e cea mai depărtată planetă vizibilă cu ochiul liber. Din păcate, pentru destul de multe planete, ceea ce cunoaștem nu este suprafața planetară, ci atmosfera densă și opacă care o înconjoară (Jupiter, Saturn, Uranus etc.).

S-au încercat mai multe clasificări ale planetelor. Cea mai cunoscută este cea între planete telurice (sau de tip terestru) și planete de tip jovian (aducînd cu Jupiter); în prima categorie, intră Mercur, Venus, Pămîntul și Marte; în cea de a doua Jupiter, Saturn, Uranus și Neptun (Pluton e considerat o excepție). Cele dintîi au o densitate ridicată, un volum relativ redus, atmosfere relativ rarefiate (cu excepția lui Venus), durate de rotație lente sau medii, sateliți puțini sau deloc, substanțe pietroase sau metalice drept constituenți principali — celelalte au o densitate în medie de două ori mai redusă, un volum considerabil, atmosfere dense, sateliți numeroși, viteze de rotație ridicate, hidrogen și compuși ai hidrogenului drept constituenți principali. Se mai vorbește despre planetele interioare sau inferioare (aflate în interiorul orbitei terestre) — Mercur și Venus — și planetele exterioare sau superioare, cuprinzînd (ca orbită) pe toate celelalte. În sfîrșit să amintim și de semnele simbolice cu care planetele apar adesea notate în diferitele tabele:

Mercur ☿, Venus ♀, Pământul ♂, Marte ♂, Jupiter ♃, Saturn ♄ Uranus ♅, Neptun ♆, Pluton ♇. Despre planete vom mai vorbi însă, firește, într-un paragraf care tratează la rind pe fiecare dintre ele.

3. Mișcări și orbite

„Marile descoperiri în astronomie — observă G.P. Kuiper și Barbara Middlehurst în monumentală lucrare *The Solar System* — s-au realizat în cursul strădaniei de a interpreta mișcările planetelor. Copernic, Kepler, Newton, Euler, Lagrange, Laplace, Gauss și Poincaré, pentru a numi doar pe cei mai mari, au creat conceptul științei moderne a naturii studiind mersul planetelor.”

Elementele de bază ale mișcărilor și orbitelor rezultă și ele din tabelul sinoptic reprodus. Cu toate acestea, trebuie să subliniem marea complexitate a acestor mișcări (numai Pământul are 14 mișcări studiate), ca și faptul că în explicarea lor mai există încă multe necunoscute. Factorul covârșitor determinant al acestor mișcări este Soarele. Alte corpuri cerești, cu mase mai mici, își exercită influențele mai ales sub formă de perturbații (de pildă perturbarea unor asteroizi și comete de către planete). Se ajunge și la captarea unor mici corpuri cerești de către planete, cum ar fi frecventa captare a corpurilor meteorice de către Pământ sau captarea unor asteroizi de către Jupiter.

Satețiții sînt în primul rînd determinați în cursa lor de planetele în jurul cărora se rotesc, factorul solar fiind mult mai redus, datorită distanței mai mari. Sensul mișcărilor este predominant cel direct, adică corespunzător mișcării de revoluție a Pământului. Sensul retrograd se întîlnește doar la cîțiva satețiți (ca și la unele comete). Mișcările se fac conform cunoscutelor legi kepleriene, cu abateri care se explică prin intervenția unor factori perturbatori, în mare parte cunoscuți.

Planetele au orbite eliptice, în general apropiate de cercuri (cu o excentricitate mică), cu excepția lui Mercur și Pluton, având excentricități de peste 0,2. Planurile orbitelor planetelor coincid aproape cu planul eclipticii (al orbitei Pământului). Din nou, Mercur și Pluton fac excepție: 7° și 17° . În general însă, planetele trebuie căutate pe cer în constelațiile traversate de ecliptică, adică în cele zodiacale. Excentricitățile și înclinațiile orbitelor față de ecliptică cresc la asteroizi — și mai mult la cometele cu perioadă scurtă. La cometele cu perioadă lungă, orbitele se apropie de o formă parabolică și înclinația lor față de ecliptică pare să nu asculte de nici o regulă. Sateliții planetelor se rotesc în jurul planetelor pe orbite apropiate de cercuri, de obicei în planul ecuatorial al planetei.

Conform legilor lui Kepler, mișcarea corpurilor cerești pe orbitele de revoluție nu se face cu o viteză uniformă, chiar pentru un același corp ceresc. Viteza parcurgerii orbitei de revoluție de către o planetă este mai lentă când distanța ei față de Soare este mai mare (de ex. Mercur: 47,9 km/s, Pluton: 4,74 km/s). Cu alte cuvinte, Mercur este de circa 10 ori mai „grăbit” decât Pluton. Dacă n-ar exista această discrepanță de viteză, nici diferența dintre duratele de revoluție a planetelor n-ar fi atât de mare (anul mercurian = 0,24 ani terestri; anul plutonian = 248,4 ani terestri).

În ce privește rotația planetelor, aceasta este mai greu de determinat decât revoluția, datorită atmosferelor dense care învăluie unele dintre aceste corpuri cerești. Sunt cazuri, ca acelea ale lui Jupiter și Saturn, în care se cunoaște numai durata de rotație a atmosferei. În ce îl privește pe Pluton, imposibilitatea de a se repera telescopic cu certitudine anumite detalii ale suprafeței a împiedicat stabilirea vitezei de rotație, explorarea astronomică fiind probabil singura în stare să rezolve această enigmă. În ce privește planeta Venus, abia explorarea astronomică a permis stabilirea unei durate de rotație de 243 zile, într-un sens retrograd. Din datele cunoscute rezultă că, spre deosebire de viteza revo-

luției, viteza rotației planetelor nu este în raport cu depărtarea de Soare. În orice caz, la trei dintre planetele gigante (Jupiter, Saturn și Uranus), durata rotației este excepțional de scurtă.

Observatorilor atenți ai bolții le sînt cunoscute „buclele” pe care planetele le descriu pe boltă, fără o legătură cu forma reală a mișcării acestora în spațiul cosmic. Schița pe care o prezentăm explică — prin mișcarea relativă a Pămîntului față de mișcarea lui Marte pe orbită — de ce Marte pare să descrie pe cerul terestru o curbă sinuoasă, caracterizată prin înaintări, stațiuni și retrogradări (fig. 13). Dacă cele două planete ar avea perioade egale de revoluție, firește că acest lucru nu s-ar întîmpla, dar anul terestru este de 365 zile, iar cel marțian de 687 zile.

Planetele inferioare se interpun uneori între Soare și Pămînt, arătîndu-ne atunci o față întunecată, ca și Luna; ele prezintă, ca și aceasta, *faze*, descoperite încă de Galileo Galilei.

După cum am mai arătat, fenomenul, descoperit de Leverrier, al variației seculare a orbitei planetei Mercur în ce privește deplasarea periheliului acesteia în sensul mișcării sale de revoluție, rămînea inexplicabil în lumina mecanicii clasice newtoniene. Teoria relativității a stabilit însă că orbitele planetare nu sînt elipse fixe în planul lor, ci elipse care se rotesc lent în acest plan, ceea ce duce la deplasarea periheliului. Cu alte cuvinte, elipsa are, ea însăși, o mișcare secundară, lentă, de rotație, în sensul mișcării de revoluție. Efectul respectiv se manifestă la toate planetele, dar mai intens la Mercur, cel mai apropiat de Soare, unde cimpul gravific e mai puternic. În acest caz, deplasarea e de 43 secunde de arc în fiecare secol — orbita lui Mercur efectuînd o rotație completă în 3 milioane de ani. Hilaire Cuny consideră de aceea orbitele planetare drept „pseudoelipse, curbe deschise care se rotesc lent în jurul Soarelui”.

Au produs unele îngrijorări „prorocirile” unor cercetători după care o pretinsă „alinieră” a planetelor în anul 1982

va duce la creșterea activității solare și implicit la turburări meteorologice și seismice pe Pământ. Această aserțiune nu are nimic comun cu știința, datele astronomice infirmând teza alinierii depline — dealtfel nici măcar o asemenea aliniere nu poate duce la efectele catastrofice prezise. Preziceri apocaliptice și absurde au blntuit și în trecut astronomia, de pildă în legătură cu ivirea cometelor, fiind însă întotdeauna infirmate.

4. Până unde?

Până acum un secol, prin limita sistemului nostru solar se înțelegea în mod curent orbita celei mai îndepărtate dintre planete. Astăzi însă, deși practic nu se poate stabili o limită precisă, conceptul acesta s-a extins simțitor. Drept graniță a sistemului solar, se consideră *cea mai mare distanță până la care mai ajung corpuri cerești ce efectuează mișcări de revoluție periodice în jurul Soarelui*. Or, aceste corpuri cerești nu sînt, în concepția actuală, planetele, considerate acum a se roti în zona centrală a sistemului solar, pînă la aproape 40 U.A. de Soare.

Astăzi, hotarele sistemului solar sînt socotite a se afla mult dincolo de acest „nucleu” planetar. Aprecierile sînt diferite: între 40 mii — 200 mii U.A. de Soare. O graniță exactă nu se poate stabili decît teoretic. Corpurile cerești care se rotesc în jurul Soarelui pînă la distanțe atît de gigantice sînt cometele cu perioadă lungă. Probabil că, la cele mai mari depărtări, ele sînt uneori „răpite” de forța de atracție a altor stele, „vecine” sistemului nostru, aflate la cîțiva ani-lumină de Soare. În orice caz, aceasta este o viziune cu totul nouă, elaborată în mare parte de astronomul olandez J.H. Oort; Viștejul de planete, sateliți și asteroizi nu este decît un simbul minuscul într-un gigantic „nor cometar”. Dacă călătoriile interstelare vor deveni realitate — și acest lucru pare probabil într-o eră ca a noastră, care sfidează

imposibilul — poate că astronauții viitorului vor întâlni undeva, la mii de unități astronomice de Pământ, o astfel de cometă. Dar ea nu va arăta ca un astru gigant, cu un cap imens și o coadă întinsă pe zeci de milioane de kilometri, ci ca un mic conglomerat solid, de dimensiunile unui modest asteroid, căruia numai apropierea de Soare i-ar putea reda înfățișarea spectaculoasă. Dar despre aceasta vom vorbi mai mult în paragraful privitor la comete.

În sfârșit, nu putem trece, în acest capitol, peste câteva fenomene dintre cele mai interesante care se petrec în cadrul sistemului nostru solar sau sînt prilejuite de corpuri cerești ale sale. Este vorba de *ocultații* (de pildă „acoperirea” unei stele de către Lună) și de *pasaje* (de pildă trecerea unui satelit al lui Jupiter în fața planetei). Observarea acestora a dus la importante descoperiri în astronomie. În ce privește eclipsele, la ele ne vom referi în capitolul consacrat Lunii.

Una dintre cele mai controversate probleme ale sistemului nostru planetar este aceea a prezenței vieții în cuprinsul ei. După cum se știe, primele zboruri cu echipaj spre Lună erau urmate de perioade prelungite de „carantină”, în cadrul cărora se urmărea distrugerea microorganismelor nocive, care ar fi putut aduce eventuale epidemii pe Pământ. Ulterior, s-a renunțat însă la această măsură, deoarece nu s-au detectat nici un fel de germeni. Pe de altă parte, temperatura imensă de la suprafața lui Venus și aspectul general de pustiu al suprafeței lui Marte (ca și primele experimente ale vehiculelor coborîte pe planetă), au adus decepții celor care anticipau forme de viață pe aceste corpuri cerești. Dar ultimul cuvînt nu a fost încă spus. Există presupuneri ale unor forme de viață în atmosfera planetelor gigant și pe unii dintre sateliții lor. Este prematur să declarăm de pe acum că viața nu e posibilă în sistemul nostru planetar decît pe Pământ. Noile cercetări ne vor da desigur, în deceniile ce vor urma, un răspuns mai complet.

Și chiar dacă, în cuprinsul sistemului nostru planetar, Pământul ar fi singurul corp ceresc purtător de forme de

viață, ceea ce este deocamdată discutabil, e foarte probabil că în Galaxie s-au dezvoltat, în multe locuri unde sînt condiții prielnice, nu numai viețuitoare, dar și civilizații, cu care omenirea se străduiește să intre de pe acum în contact.

Ceea ce pare însă evident e faptul că, cel puțin astăzi, nicăieri în sistemul nostru planetar „nu există — după cum remarcă J. Gauzit — aspectele luxuriante de viață de pe Pămînt și nici varietatea de forme pe care le întîlnim aici”.

B. PLANETA PĂMÎNT

1. Prospectul Terrei

Dacă în vremea rigidelor învățături ale scolasticii, care preluaseră din Aristotel tot ce era retrograd și deformaseră tot ce era viu și adevărat, s-ar fi scris un „Ghid al Cosmosului”, includerea în el a unui capitol despre Pămînt ar fi apărut ca o veritabilă impietate. Pămîntul nu era considerat a face parte din „lumea cerească”, fiind socotit un sălaș cu totul deosebit, în jurul căruia aștrii bolții se rotesc parcă pentru a-i recunoaște supremația. Astăzi însă, Pămîntul a fost fotografiat din Cosmos de astronauți și este înțeles în mod curent ca „planeta a treia” a sistemului nostru solar. E deci firesc să îl analizăm drept corp ceresc, mîndrindu-ne nu cu pretinsa sa „poziție excepțională” în Univers, ci cu remarcabila civilizație căreia Terra i-a dat naștere. Acesta reprezintă un progres hotărîtor în concepția despre lume.

După cum s-a văzut în capitolul de istorie a astronomiei, identificarea formei Pămîntului, care s-a dovedit a nu corespunde nicidecum aparențelor de corp „plat”, s-a făcut treptat, întîmpinînd multe opoziții. După cîte se pare, conceperea sa ca un corp izolat în spațiu și ideea Pămîntului sferic a apărut la vechii greci. În sfîrșit, Eratosthene a izbu-

tit să măsoare raza Pământului, după umbra Soarelui la Siena și Alexandria la ora prinzului. La începutul sec. al XVII-lea, a devenit însă limpede că Pământul nu este o sferă perfectă și mai ales că este turtit, „aplatizat“. Unde însă, la poli (cum afirmau partizanii lui Newton) sau la ecuator (cum afirmau partizanii lui Cassini)? Pentru rezolvarea controverselor, trebuia stabilit în ce zonă este mai scurt un grad de meridian. După multe peripeții, după expediții celebre de măsurare a gradului de meridian, desfășurate în Laponia și Peru, s-a dovedit că gradul de meridian este mai scurt în regiunile polare, deci că acolo Pământul este turtit (datorită faptului că polii nu iau parte la rotație). Asociația Internațională de Geodezie a adoptat pentru Pământ modelul unui elipsoid, conform determinării lui J.F. Hayford, cu valorile fundamentale:

$$a = 6\,378\,388 \text{ m}$$

$$\alpha = \frac{a - b}{a} = \frac{1}{297,0}$$

în care a = semiaxa mare, b = semiaxa mică, α = turtirea.

Gradul de turtire se determină astăzi prin observarea directă a orbitelor sateliților artificiali (mai exact a vitezelor precesiei planurilor acestora), iar rezultatele obținute sînt:

$$a = 6\,378\,160 \text{ m}$$

$$\alpha = \frac{1}{298,25}$$

Polul sud al Pământului este cu circa 30 m mai aproape de ecuator decît polul nord, o diferență de mică importanță.

Dacă am imagina Pământul redus la dimensiunile unui glob cu diametrul ecuatorial de 30 cm, diametrul său polar ar fi doar cu 1 mm mai mic decît cel ecuatorial. Deci Terra nu are o turtire accentuată, ea fiind foarte apropiată de o sferă. Cu toate acestea, forma exactă a Pământului preocupă în cel mai înalt grad pe specialiști, el fiind considerat un

elipsoid de revoluție special denumit *geoid*, care nu se identifică cu nici o figură geometrică cunoscută. Problema este mai complexă decât s-ar părea, ținând de asemenea de structura internă a Terrei și de masele muntoase aflate deasupra nivelului oceanic.

Să precizăm dimensiunile și alte trăsături de bază ce caracterizează Pământul: diametrul — 12 756 km, suprafața — $5.10.10^8 \text{ km}^2$, volumul — $1,083.10^{12} \text{ km}^3$, masa — $5,98.10^{27} \text{ g}$, densitatea medie 5,517, accelerația gravitației — $9,78049 \text{ m/s}^2$ (la ecuator) și $9,83235 \text{ m/s}^2$ (la poli), viteza de satelizare — 7,79 km/s, viteza de eliberare (de atracția Pământului) — 11,19 km/s.

Mișcările Pământului sînt numeroase și foarte complexe (14 mișcări identificate pînă acum). Cele mai importante sînt; rotația în jurul propriei axe; revoluția în jurul Soarelui; precesia; nutația; mișcările efectuate, împreună cu întregul sistem solar, în cadrul Galaxiei (vezi paragraful consacrat Soarelui).

În raport cu stelele, considerate fixe, Pământul efectuează o rotație completă în jurul propriei axe (dreapta care unește poli) în 23 ore, 56 minute și 4,0905 s, de la vest la est. Viteza sa este la ecuator de 465 m/s. Acest interval de timp constituie ziua siderală, spre deosebire de intervalul obișnuit de rotație (24 ore) care se raportează la Soare.

Mișcarea de revoluție se efectuează în 365,2564 zile (anul sideral), viteza pe orbita Pământului fiind în medie de 29,76 km/s, conform legilor lui Kepler. În punctul cel mai îndepărtat de Soare, afeliul, această viteză scade, la începutul lui iulie, la 29,27 km/s, în timp ce în punctul cel mai apropiat de Soare, periheliul, viteza crește, la începutul lui ianuarie, la 30,27 km/s. Orbita eliptică, ca a tuturor planetelor, este de mică excentricitate: 0,0167. Întrucît axa polilor face cu planul eclipticii un unghi de $66^\circ 33' 15''$, emisferele Pământului primesc cantități diferite de căldură în decursul anului, ceea ce duce la fenomenul anotimpurilor, atît de vital în dezvoltarea formelor de viață terestre (și

inegalitatea zilelor și nopților este un rezultat al înclinației orbitei terestre). Începutul unui anotimp este marcat de un fenomen astronomic: solstițiul pentru vară și iarnă și echinoxul pentru primăvară și toamnă. Iată datele astronomice ale debutului anotimpurilor (pentru emisfera nordică):

primăvara — 20 sau 21 martie

vara — 21 sau 22 iunie

toamna — 22 sau 23 septembrie

iarna — 21 sau 22 decembrie

Prin mișcarea de preceșie, a cărei perioadă este de circa 26 mii de ani, axa polilor terestri descrie, sub influența combinată a Soarelui și Lunii, un con cu virful în centrul Pământului. Aceasta înseamnă că dacă actualmente „steaua polară” e steaua Alfa din constelația Ursa mică, în trecut acest rol îl aveau alte stele; cu 2 600 ani î.e.n. — steaua Alfa din constelația Dragonului; în anul 13 800 e.n., el va reveni luminoasei stele Vega, din constelația Lirei.

În ce privește rotația și aceasta reprezintă un ansamblu de oscilații ale axei terestre, de mai mică amplitudine și cu perioadă mai scurtă.

2. Structura Pământului

Astronomul Gerard P. Kuiper consideră, în lucrarea sa despre sistemul solar, că planetele, deși „sunt membri ai unei familii” reprezintă „corpuri cerești individualizate; nu există două planete care să semene perfect una cu alta”.* Acest lucru este pe deplin valabil și în ce privește Pământul. Atmosfera Terrei nu seamănă de pildă cu nici una dintre celelalte atmosfere planetare din cadrul sistemului nostru. La nivelul mării, compoziția acestui amestec de gaze este de 78,08% azot, 20,95% oxigen, 0,93% argon și 0,03% bi-

* Gerard P. Kuiper, *The earth as a planet*, vol. II, din lucrarea *The solar system*, ed. III, Chicago, 1960, p. v.

oxid de carbon. Celelalte componente — hidrogenul, heliul, neonul, xenonul, criptonul, metanul etc. — sînt în proporții cu mult mai mici, totalizînd circa 0,003%. Anumite componente, ca vaporii de apă și ozonul, prezintă o însemnătate deosebit de mare, dar și o mare variație de la un loc la altul (vaporii de apă: 0 — 0,2%). Greutatea globală a atmosferei reprezintă 5.10^{15} tone. Astăzi se consideră că atmosfera se extinde pînă la 3 — 4 000 km de la suprafața Pămîntului. Gaze ionizate au fost însă întîlnite de rachetele cosmice pretutindeni, cu densități relativ mari (de ex. la circa 20 000 km de Terra) sau foarte mici. Atmosfera are un rol important în absorbirea celei mai mari părți a radiațiilor X și ultraviolete provenite de la Soare, dăunătoare vieții terestre. În ansamblu, învelișul gazos și suprafața terestră absorb cca. 55% din radiația solară; după o serie de transformări suferite, o mare parte a acestora este din nou radiată în spațiul cosmic, în zona infraroșie a spectrului. Pe de altă parte, radiația infraroșie a solului terestru este absorbită într-o măsură considerabilă de vaporii de apă, bioxidul de carbon și ozon, ceea ce produce un parțial „efect de seră”, care sporește simțitor temperatura medie a suprafeței terestre. Restul de cca. 45% din energia radiației solare care ajunge la Pămînt este însă reflectată în spațiul cosmic.

Structura complicată a atmosferei, cu diferitele ei straturi, avînd compoziții chimice, temperaturi și proprietăți electromagnetice de o mare diversitate, ia naștere ca rezultat al radiației solare și al efectelor ei pe verticală. Studiul acestora a fost considerabil aprofundat prin lansarea sateliților artificiali ai Pămîntului. Pe de altă parte, sateliții și alte aparate cosmice lansate de pe Terra au relevat amploarea și structura considerabilului cîmp magnetic al Pămîntului, ale cărui perturbații sînt în strînsă legătură cu anumite componente ale radiației solare (vezi paragraful despre Soare).

Tot datorită astronauticii au fost descoperite centurile de radiații din jurul Pămîntului, una interioară și mai multe

exterioare, în care predomină protonii și electronii, particule captate de câmpul magnetic terestru. Împărțirea în „zone” sau „centuri” de radiații este considerată adesea, în ultimul timp, convențională, întrucît particulele componente umplu de fapt întreg spațiul în care acționează câmpul amintit.

În ce privește relieful terestru, acesta prezintă altitudini continentale și adîncimi oceanice. Amplitudinea maximă a reliefului (între piscul Everest și fosa Marianelor din Pacific) este de cca. 20 km. Între altitudinea medie a continentelor și adîncimea medie a mărilor, diferența este de aproximativ 4,5 km.

O problemă de un mare interes științific o constituie structura interioară a globului terestru, a litosferei. Prin foraje nu se poate ajunge decît pînă la 10—12 km, dar cercetările seismice și alte investigații geofizice indică trei straturi principale. Cel exterior și totodată cel mai subțire este *scoarța*, în grosime de numai 30—40 km, alcătuită în principal din granit și bazalt. Determinările bazate pe elementele radioactive îi indică o vîrstă de cel puțin 4,5 miliarde de ani. Dedesubtul ei se află un *strat intermediar* („magma”) bogat în siliciu și magneziu, în grosime de circa 2 900 km, alcătuit din mai multe zone concentrice, a căror densitate crește dinspre exterior spre interior. Dincolo de stratul intermediar, se află *nucleul central*; după unii, există și un *sub-nucleu*, ca strat de cea mai mare adîncime. (Alții iau în considerare o zonă exterioară și o alta interioară a nucleului.)

Aprecierile cu privire la densitățile și temperaturile diferitelor straturi prezintă variații destul de mari. Cert este că ambele proprietăți cresc dinspre exterior spre interior. Dacă de pildă pentru *scoarță* se presupune de $2,6\text{--}3,0\text{ g/cm}^3$, pentru zona cea mai profundă densitatea este apreciată între $16,8\text{--}17,2\text{ g/cm}^3$, unele evaluări mergînd pînă la $18\text{--}20\text{ g/cm}^3$. Temperatura este în *scoarță* de $15^\circ\text{--}450^\circ$, pentru ca în zona interioară a nucleului să atingă $3\text{--}4\,000^\circ$ (după unii pînă la $100\,000^\circ$). Temperaturile foarte ridicate s-ar putea explica prin dezagregarea unor roci radioactive

de mare adâncime. În orice caz, se pare că nucleul terestru este o sursă de energie, care se cheltuiește însă mai ales în deplasarea maselor din interiorul Pământului, în reacții chimice intense, degajări de energie termică etc. După aprecierile lui V.G. Hlopîn, datorită elementelor radioactive, în masa Pământului sînt degajate $43,3 \cdot 10^{16}$ cal/oră.

Compoziția nucleului Terrei este încă controversată. Menzel, Whipple și Vaucouleurs consideră că cel mai verosimil este să presupunem un nucleu lichid, de mare viscozitate, de pildă din nichel-fier, o compoziție amintind de meteoriții feroși. După alții, materia se află într-o stare de plasmă, alcătuită din atomi care și-au pierdut cea mai mare parte dintre electroni. Există și unii partizani ai unei stări solide a nucleului.

STRUCTURA PĂMÎNTULUI

Stratul	Grosimea (km)	Limitele de separare (km)	Proporția ca volum	Proporția de masă	Densitatea (g/cm ³)	Temperatura (°C)
Scoarța	33	0-33	1,5	0,8	2,6-3,0	15-450
Stratul intermediar (magma)	2870	33-2900	82,3	67,8	3,3-5,7	2 000
Nucleul (zona exterioară)	2100	2900-5000	15,2	28,4	9,4-11,5	3 000
Nucleul (zona interioară)	1370	5000-6370	1	3	16,8-17,2	3 500

De remarcat că la limitele de separare dintre straturi densitatea crește în salturi.

Evident, este vorba de evaluări, supuse unor viitoare corective, care pot fi destul de mari. În studiul interiorului și mai ales al nucleului propriiei noastre planete, ne aflăm în plin domeniu al ipotezelor. Totodată, chiar dacă modelul

astfel conceput corespunde realității, este greu de presupus dacă structura altor planete apropiate (Venus, Marte, Mercur) este similară sau constituie o problemă cu totul nouă.

C. LUNA, VECINA NOASTRĂ

1. Cîteva date fundamentale—

În anul 1958, cunoscutul autor de lucrări de astronomie descriptivă Patrick Moore scria în revista *New Scientist* un articol în care considera enorme dificultățile pentru fotografierea părții ascunse (invizibile de pe Terra) a Lunii și își exprima convingerea că momentul nu a sosit încă pentru o asemenea performanță. Cu toate acestea, doar paisprezece luni mai târziu, Moore contempla, după cum singur mărturisește într-o carte, fotografiile „feței ascunse”, realizate de racheta sovietică Luna III. Evenimentele s-au precipitat, observă el, și „chiar nebunii care prevedeau călătorii interplanetare în jurul anului 1930” — după cum îi numește — au fost depășiți de realitate. Ca un omagiu, Moore a scris, în 1962, unul dintre puținele „ghiduri” — monografii astronomice existente, *Guide to the Moon* (în limba engleză), iar versiunea franceză, cu completările de rigoare, a apărut cîteva ani mai târziu, într-un volum masiv, de aproape 500 de pagini.

Ne revine sarcina de a rezuma, de a sintetiza, în numai cîteva file, cunoștințele actuale despre Lună, intrată în actualitatea imediată în urma performanțelor uluitoare ale astronauticii, care a îngăduit aducerea pe Pămînt a numeroase mostre de sol lunar, fotografierea Terrei de pe Lună, explorarea Lunii — ca prim corp ceresc — de către om, în sfîrșit uluitoarele excursii științifice pe Lună ale fantasticeilor automate reprezentate de lunamobilele „Lunohod”.

Cu ce să începem? Desigur, cu prezentarea datelor numerice fundamentale despre Lună:

Distanța medie de Pământ: 384 400 km

Distanța maximă de Pământ: 421 690 km

Distanța minimă de Pământ: 353 680 km

Revoluția siderală: 27,32166 zile = 27 zile, 7 ore, 43 minute, 11,5 secunde.

Revoluția sinodică (luni lunare): 29,53 zile = 29 zile 12 ore, 44 minute, 2,8 secunde.

Excentricitatea orbitei: 0,0549

Inclinația orbitei față de ecliptică 5°09'

Masa: $\begin{cases} - 7,35 \cdot 10^{25} \text{ g} \\ - \text{față de Pământ } \frac{1}{81,3} = 0,0123 \end{cases}$

Volumul $\begin{cases} - 2,2 \cdot 10^{25} \text{ cm}^3 \\ - 0,0203 \text{ față de Pământ.} \end{cases}$

Suprafața: $3,8 \cdot 10^7 \text{ km}^2$

Accelerația gravitației la suprafață: $162 \text{ cm/s}^2 = 0,16$

Viteza de eliberare: 2,3 km/s.

Densitatea $\begin{cases} - \text{față de apă: } 3,3 \\ - \text{față de Pământ: } 0,60 \end{cases}$

Viteza medie pe orbită: 3 680,5 km/h (1,02 km/s)

Inclinarea planului ecuatorial față de ecliptică: 1°32'

Magnitudinea Lunii pline la distanța medie: - 12,5

Albedo (mediu) al emisferei îndreptate spre Terra: 7%

Diametrul aparent — maxim: 33'33"

— mediu: 31'5"

— minim: 29'22"

La aceasta mai trebuie adăugate câteva considerente, care să facă datele fundamentale enumerate mai grăitoare. Distanța medie de la Pământ la Lună corespunde cu aproximativ 60 raze terestre, Luna fiind de 400 ori mai aproape

de Terra decît Soarele, de 15 000 ori mai apropiată decît Pluton, de o mie de ori mai depărtată decît este București de Baia Mare. Ca și alți sateliți din sistemul nostru planetar, Luna rămîne orientată mereu cu aceeași emisferă spre Terra, „fixată” astfel de forța de atracție a planetei noastre; aceasta echivalează cu a spune că durata de rotație a Lunii în jurul propriei axe este egală cu durata ei de revoluție în jurul Pămîntului. Tot această atracție a dat Lunii o formă piri-formă (alungire de 3 km în direcția Pămîntului). Lumina Lunii, care reflectă radiația Soarelui, este de 450 000 ori mai slabă decît a Soarelui, cam cît a unei luminări pusă la doi metri distanță. Ca volum, Luna este de 49 ori mai mică decît Terra, ca diametru de 4 ori, ca suprafață de 14 ori (cam cît Africa și Australia la un loc). Forța de atracție a Lunii este de cca. 6 ori și ceva mai mică decît a Pămîntului și de aceea oamenii și aparatele terestre ajunse acolo cîntăresc corespunzător mai puțin. Cîteva date comparative: un om de 72 kg ar cîntări pe Lună 12 kg (astronauții actuali sînt mai grei, datorită echipamentului și mai ales aparatului de supraviețuire), pe Mercur 19 kg, pe Marte 26 kg, pe Venus 58 kg, pe Jupiter 154 kg, pe Soare 2 tone.

Forța redusă de atracție nu a permis Lunii să rețină o atmosferă, aceasta fiind atît de rarefiată, încît este practic nulă. Toomai de aceea, cînd cercetăm Luna prin lunetă, vedem că stelele dispar brusc în spatele discului lunar și nu se sting progresiv, în urma absorbției treptate a strălucirii lor. De asemenea, ziua și noaptea se produc dintr-o dată, ele durînd fiecare cam cît 14 zile terestre. Poate că în unele cratere sau falii adînci se vor descoperi totuși gaze rarefiate, datorită emanațiilor de gaze și electroni ale solului lunar, care se risipesc în general în spațiul cosmic. Tot aceste emanații explică poate „norii” care au fost văzuți, foarte rar, plutind deasupra unor circuri. Cîmpul magnetic al Lunii este extrem de redus (cîteva miimi din cel terestru).

Există mai multe ipoteze despre structura nucleului lunar. Una dintre acestea presupune alcătuirea sa dintr-o rocă

primitivă (peridotită), săracă în elemente radioactive. O altă ipoteză presupune însă un miez topit (ca și acela de obicei atribuit Pământului), alcătuit mai ales din sulfură de fier. Urmează, spre exterior, trei „mantale” succesive, iar în afară un înveliș, corespunzător scoarței terestre, deși diferit ca alcătuire.

Temperaturile sînt extreme, datorită lipsei atmosferei, scăzînd noaptea pînă la -160°C și crescînd ziua pînă la $+130^{\circ}\text{C}$.

Absența atmosferei (dar totuși prezența unui mediu rarefiat special, creat de dinamismul activităților radiative solare și a impactelor meteorice) și-a pus puternic amprenta pe relieful lunar, care prezintă forme aspre, nerotunjite și poartă la tot pasul semnele contactelor meteorice (pe Terra, învelișul gazos „consumă” cea mai mare parte a corpurilor meteorice, înainte ca ele să atingă solul).

Printre imaginile cele mai extraordinare realizate de astronauți, se numără fotografiile Pământului văzut din perspectiva suprafeței lunare. Dar, să nu uităm că acestea se zărește numai de pe emisfera îndreptată spre noi. De acolo, Pământul este vizibil ca un glob de circa 13,5 ori mai mare decît cel lunar pe cerul nostru, uneori deosebindu-se și conturul continentelor printre „ferestrele” lăsate de nori. În nopțile de „Pământ plin”, strălucirea lui permite pe Lună citirea unei cărți sau scrierea unei scrisori. În orice caz, dacă trecem în revistă datele dobîndite de știință datorită astronauticii, Lunii, lume în general încremenită și stearpă, i se potrivește destul de bine porecla pe care i-a dat-o marele popularizator al științei care a fost Victor Anestin: „Moarta cerului”.

Și cu tot farmecul ei pentru nopțile pămîntene, acum, cînd pămîntenii au văzut la televizor imaginile oamenilor cutreierînd Luna sau fotografiile panoramice realizate de

sondele automate, versurile lui Coșbuc care o preaslăvesc
răsună pline de farmec, dar parcă din mari depărtări:

*Iat-o! Plină despre munte
Iese luna din brădet
Și se-nalță, încet-încet
Gînditoare ca o frunte
De poet.*

2. Relieful lunar

Cum bine remarcă în cartea amintită Moore, pînă pe la mijlocul secolului nostru, Luna devenise un fel de „cenușareasă” a astronomilor. Fața ei vizibilă era binecunoscută, datorită progreselor excepționale ale selenografiei (zeci de mii de detalii fuseseră cartografiate), iar pustietatea ei apărând ca un fapt evident. Pătrunderea spectaculoasă a omului în Cosmos a avut drept rezultat un reviriment în interesul pentru Lună. Și de aceea au revenit pe primul plan unele probleme nerezolvate și controversate, cu privire de pildă la vechimea rocilor lunare, natura solului lunar, originea celor mai caracteristice formațiuni — circurile —, chestiunea vulcanismului lunar, deosebirea (eventuală) dintre fața vizibilă și cea invizibilă a Lunii. În această privință, cosmonautica a prilejuit mari progrese, deși nu a rezolvat nici pe departe toate problemele, întrucît nu au fost vizitate decît o serie de zone limitate ale satelitelui natural al Terrei. În orice caz, să consemnăm faptul că solul lunar a fost atins pentru prima dată de sonda spațială sovietică Luna II (14 septembrie 1959), iar la 7 octombrie 1959 Luna III a fotografiat și transmis pe Pămînt imaginea feței ascunse a Lunii. La 20 iulie 1969, nava cosmică americană Apollo 11 a aselenizat lin, depunînd la suprafața satelitelui natural al Terrei primii oameni.

Să ne oprim mai întîi asupra formațiunilor reliefului lunar, atît de diferite de cele terestre. După cîte se pare,

relieful a fost modelat atît de activitatea internă a Lunii (revărsări de lavă, deplasări de mase interne etc.), cit și de efecte provenite din exterior, mai ales de amintitul „bombardament” meteoric. În orice caz, seismografele instalate de expedițiile terestre în Lună au arătat că acest corp cerește este destul de frecvent zguduit de cutremure.

Trei sînt formele fundamentale ale reliefului lunar. Este vorba de *continente*, *mări* și *circuri*. Denumirile acestea nu trebuie să ne înșele. Pe Lună nu există întinderi de apă, mările fiind pur și simplu regiuni plane și mai întinse, iar continentele reprezentînd regiuni mai deschise la culoare, mult mai accidentate și mai înalte, adesea străbătute de lanțuri muntoase, cu piscuri de înălțimi impresionante (în apropierea Polului Sud, Munții Leibnitz și Doerfel ating peste 8 000 metri înălțime, ceea ce reprezintă mult mai mult decît înălțimea muntelui Everest pe Pămînt, dacă ținem seama că Luna e considerabil mai mică decît Pămîntul).

Astăzi dispunem de hărți complete ale întregii suprafețe lunare, ca și de un glob lunar, și se poate conchide asupra diferențelor ce există între partea vizibilă și cea ascunsă a Lunii. După profesorul A. Mihailov, această deosebire se explică prin influența atracției Pămîntului, mai accentuată asupra părții îndreptate spre Terra, ca și prin faptul că tot această față suferă efectul eclipselor de Lună, cînd se produc mari decalaje de temperatură într-un interval foarte scurt. Care sînt însă în esență aceste deosebiri (desigur nu esențiale, dar totuși evidente)? În ansamblu, reversul Lunii este mai monoton, mai puțin „agitat” decît partea întoarsă spre Pămînt. Acolo sînt aproape exclusiv zone continentale. Pe fața vizibilă a Lunii, mările reprezintă circa 40% din suprafață, pe revers doar 3,5%.

Dar formele cele mai caracteristice ale reliefului lunar — și în general ale corpurilor cerești fără atmosferă sau cu atmosferă rarefiată — sînt circurile sau craterele, de formă de obicei rotundă, adîncituri împrejmuite de o barieră mai mult sau mai puțin ridicată. Astronauții coboriți pe Lună

au fost impresionați de mulțimea lor, uneori cu diametre de numai câțiva metri sau centimetri. Mai mult chiar, pe grăunțele globulare din nisipul de la suprafața Lunii s-au observat circuri cu diametre de fracțiuni de milimetru, săpate de micrometeoriti.

Pe partea vizibilă de pe Pământ a Lunii, numărul circurilor al căror diametru trece de 1 km este apreciat la peste 300 mii. Cel mai mare dintre ele, Clavius, depășește 230 km în diametru.

Pe partea invizibilă a Lunii, circurile care dau Se-lenei înfățișarea unui „obraz ciupit de vărsat” sînt și mai numeroase. Originea lor este încă neclară; dacă pentru cele mici impactul meteoric poate fi luat în considerare, pentru cele de zeci de kilometri diametru această ipoteză e cu totul neverosimilă. Unele circuri par de origine vulcanică. S-a emis și ipoteza că ar proveni de pe urma unor curenți de gaze interne care ar răzbi la suprafață: aci ar provoca un fel de umflături, care pînă la urmă s-ar sparge și ar lăsa în urma lor ciudatele formații circulare. Deasupra unor circuri, ca Alfons și Aristarh, s-au observat izolat emanații gazoase.

Satelii artificiali lunari, lansați de pe Pământ, au scos în evidență că Luna nu este un corp omogen, ci prezintă anomalii de gravitație, botezate de specialiștii americani „masconi” (de la „mass concentrations”). Se poate conchide că sub suprafața lunară există enorme concentrații de mase, mai ales sub mările de formă cvasicirculară. Pe această bază, formarea unei mări a putut fi privită în lumina următoarei ipoteze; cu multă vreme în urmă, pe cînd subsolul lunar era în mare parte în stare fluidă, un corp meteoric enorm (sau un mic asteroid) a căzut la suprafață și a străpuns scoarța lunară; materia lunară din interior s-a revărsat, pe această cale, la suprafață, „inundînd” regiunea înconjurătoare și solidificîndu-se ulterior. Oricum, mările sînt socotite întinderi de magmă solidificată, care a răzbit cumva la exterior.

Nomenclatura lunară e extrem de bogată și, ceea ce este curios, diferită de la un tip de formațiune la alta. Astfel, astronomul Jan Hevelius, unul dintre întemeietorii selenografiei, care a studiat cu minuție petele întunecate de la suprafața Lunii, s-a gândit că n-ar fi prudent să le dea nume de oameni celebri de pe planeta noastră, fiindcă mulți dintre cei omiși se vor supăra. De aceea, a preferat să le dea denumiri fanteziste, care s-au păstrat — pentru partea vizibilă a Lunii, observată de el —, până în ziua de astăzi. Cea mai mare formațiune este Oceanul Furtunilor (cam 5 milioane km²), alte mări binecunoscute fiind Marea Ploilor, Marea Seninătății, Marea Norilor, Marea Nectarului, Marea Crizelor, Lacul Morții, Lacul Visurilor, Mlaștina Putrefacției, Golful Curcubului etc. Tradiția n-a mai fost respectată pentru partea ascunsă a Lunii, unde savanții sovietici au înscris de pildă Marea Moscovei și Golful Astronauților.

Mările sînt în general înconjurate de lanțuri muntoase și la suprafața lor circurile sînt mult mai puțin numeroase decît în zonele continentale. Pe unele hărți, cititorii vor întîlni „întinderile de apă“ cu denumiri latinești și de aceea vom da un mic glosar; *oceanus* — ocean; *mare* — mare; *sinus* — golf; *lacus* — lac; *palus* — mlaștină. Lacurile sînt depresiuni mici și izolate, golfurile se formează pornind de la mări, iar mlaștinile sînt porțiuni ale suprafeței lunare intermediare ca luminozitate între mări și continente.

Zonele continentale se deosebesc profund de mări. Aci diversitatea formelor este extrem de mare. Lanțuri de cratere — în lungime de pînă la 1 000 km — le străbat. De asemenea, se observă impunătoare lanțuri muntoase. Acestea din urmă au fost botezate după formațiunile muntoase terestre: Alpii, Caucazul, Carpații, Cordilierii, Apeninii, Altaiul. Munții lunari sînt munți adevărați (nu ca mările lunare), pe partea vizibilă fiind cunoscute 17 masive. Unele dintre acestea înconjoară, cum spuneam, mările (de ex. munții Taurus, Hemus, Apeninii, Caucazul, Alpii — Marea Ploilor), iar alții străbat continentele. Pe reversul Lunii, se află Munții

Sovietici. Uneori, lanțurile de munți seamănă cu niște culmi care se ridică deasupra unei suprafețe înecate (probabil de lava revărsată cândva?). Înălțimea relativ ridicată a piscurilor lunare se explică prin absența fenomenelor de eroziune, datorate pe Pământ curenților aerieni și apelor.

Circurile prezintă o mare diversitate de aspecte. Deși mai toate au panta exterioară relativ lină, iar cea interioară mai abruptă, deși forma generală rotundă le este caracteristică, diferențele dintre ele sînt foarte mari, chiar dacă nu mai amintim de cele privind dimensiunea. Unele circuri sînt puțin adinci, în timp ce altele au peste șapte kilometri adîncime, unele au fundul luminos (cel mai strălucitor e Aristarh), altele întunecos. Există circuri care au, în mijlocul platformei interioare, unul sau două piscuri, de formă conică, alții au bariere multiple înconjurătoare. Cîteodată „inelele“ sînt întrerupte prin circuri mai mici, formate probabil ulterior cercului principal. Circurilor li s-au atribuit, prin tradiție, numele unor mari învățați și alți oameni de cultură, pe ambele fețe lunare, ceea ce dă Lunii un caracter de veritabilă enciclopedie. Nu lipsesc, de pildă, Hipparc, Aristot, Bacon, Copernic, Descartes, Schiller, Fourier, Berzelius, Lomonosov, Joliot-Curie, Edison, Jules Verne etc. Și numele a doi savanți din România, Spiru Haret și Janos Bolyai, a fost dat în anii astronauticii unor circuri de pe reversul Lunii.

La suprafața Lunii mai au fost observate și o serie de alte formațiuni, a căror natură și origine mai este încă în curs de elucidare. Așa sînt de pildă benzile luminoase cu aspect de „raze“ care pleacă de la anumite circuri (ca Messier, „farul“ Mării Fecundității, Aristarh, Proclus, Copernic), străbătînd chiar platouri și munți. De la cercul Tycho pornește cel mai întins sistem de raze, desfășurîndu-se pe o treime din emisfera vizibilă a Lunii. Foarte interesante sînt și sistemele de crăpături (falii, crevase) care se zăresc în multe locuri pe suprafața lunară, dintre care cel mai mare este cel denumit Hyginus, cu multiple ramificații. S-au format probabil în urma activității geologice lunare, de pildă a cutremurelor — după unii

Insă ca albi de scurgere a lavăi. Vom aminti și de o serie de alte formațiuni, fără a mai insista asupra lor: valuri sau unde (mici ridicături de aceste forme), munți conici (din care cel mai celebru e Pico), văi, ziduri drepte formate poate în urma unor prăbușiri de teren, așa-zisi „pori” — mici adâncituri în formă de ceașcă, intumescențe (umflături cu o gaură în virf) etc.

Cu toate că Luna este o lume a imobilismului, s-au observat telescopic și unele schimbări izolate ale reliefului lunar. Încă în secolul trecut, marele selenograf Julius Schmidt a observat că cercul Linné, căruia îi și măsurase un diametru de 10 km și o adâncime de 400 m, nu s-a mai observat la un moment dat, în locul său apărind o pată cețoasă, cu o mică gaură în centru. Ulterior, s-a remarcat că pata suferă schimbări în cursul zilei lunare. Actualmente, acolo se vede o intumescență. Și o serie de alte circuri mici, ca Alhazen, au dispărut. S-a mai remarcat dispariția unor raze și apariția altora noi, schimbări de colorație ale unor zone în cursul zilei lunare etc. încă neexplicate.

În ce privește presupunerile privind formele de viață lunară, ele apar extrem de improbabile, mai ales în lumina cercetărilor astronautice de până acum. Cel mult în unele adâncituri, cu emanații de gaze, ar mai putea fi eventual căutate sau pe fundul unor circuri unde se produc schimbări de colorație încă neclarificate. În legătură cu activitatea vulcanică lunară, cindva foarte intensă, ea este astăzi practic inexistentă.

În anul 1961, cu cinci ani înainte ca primul vehicul terestru să coboare lin pe suprafața Lunii și să transmită de acolo imagini televizate, la observatorul de la Pulkovo, lângă Leningrad, s-a ținut un simpozion despre Lună. Aci s-au înfruntat mai ales două teze despre solul lunar. După unii, acesta era considerat o pulbere, cu o grosime mergînd pînă la 10 metri (A. Dollfus și T.A. Gold) — deci astronautii și aparatele lor păreau amenințați să se scufunde în el —, după alții i se atribuia un caracter spongios („buretos”); în această a doua ipoteză, praful liber n-ar fi putut exista la suprafața

Lunii, cel care a existat cîndva dînd naștere unei roci fragile și poroase, de culoare închisă (Whipple și Șitinskaia).

Numai cercetările la fața locului au început să rezolve enigma solului lunar. În locurile cercetate pînă acum, acesta e acoperit de un nisip alcătuit din particule de diferite dimensiuni și alcătuiți, ca și de numeroase pietre și pe alocuri stînci. În orice caz, cînd în iulie 1969 primul vehicul greu, cu oameni la bord, „Apolo 11“, a coborît pe Lună, suportii modului lunar abia dacă s-au afundat în sol 2,5—5 cm și chiar jeturile de gaze utilizate pentru frînarea alunizării nu au săpat decît o pilnie de vreo 30 cm adîncime. Pașii astronauților au lăsat în sol urme vizibile, dar care nu treceau de 2,5 cm adîncime. Natura păturii granulare prăfoase, de cîtiva metri adîncime, denumită regolit — este desigur încă în plin studiu și rezultate de ansamblu și definitive se vor putea consemna abia la sfîrșitul secolului. Pe regolit sînt răspîndite roci de diferite mărimi. De pe acum se pot trage unele concluzii revelatoare.

Oxigenul (40%) și siliciul (20%), în diferite combinații, par principalele elemente din solul lunar. Fierul, de o mare puritate, reprezintă cca. 15%. Numeroase eșantioane de roci lunare sînt de origine vulcanică și nu diferă prea mult de rocile eruptive terestre. În probele aduse, oxidul de titan reprezintă o proporție însemnată. Se găsește mult uraniu, thoriu, zirconiu, crom — o bogată rezervă de materii prime prețioase. O serie de fragmente mai mari, desprinse din stînci, conțin minerale pe bază de olivină și feldspat, dar și minerale necunoscute pe Terra. Se apreciază că peste 90% din masa Lunii e alcătuită din roci bazaltice.

În cele ce urmează, prezentăm un tabel comparativ al compoziției chimice a rocilor lunare, de suprafață și de adîncime, analizate cu ajutorul rachetei sovietice Luna XVI (care a adus eșantioanele pe Pămînt) și a expediției americane „Apollo 12“. Similitudinea rezultatelor este evidentă. Menționăm că cele două rachete au cules eșantioanele la o distanță de cca. 2 500 km una de cealaltă (prima alunizînd în Marea Fecundității, iar cea de a doua în Oceanul Furtunilor).

**COMPOZIȚIA CHIMICĂ A EȘANTIOANELOR DE ROCI
LUNARE (în procente):**

	Luna XVI		Apollo 12	
	Stratul su- perficial	Roca bazal- tică de adin- cime	Stratul su- perficial	Rocă bazal- tică de adin- cime
Si O ₂	41,7	43,8	42	40
Ti O ₂	3,39	4,9	3,1	3,7
Al ₂ O ₃	15,32	13,65	14	11,2
Fe O	16,8	19,35	17	21,3
Mg O	8,73	7,05	12	11,7
Ca O	12,2	10,4	10	10,7
Na ₂ O	0,37	0,33	0,40	0,45
K ₂ O	0,10	0,15	0,18	0,065
Mn O	0,21	0,2	0,25	0,26
Cr ₂ O ₃	0,31	0,28	0,41	0,55
Zr O ₂	0,015	0,04	0,09	0,023

În regiunile mărilor, roca predominantă este bazaltul, bogat în fier, de culoare închisă, iar în regiunile continentale anortositul, bogat în oxizi de calciu, aluminiu și siliciu, mai deschis la culoare, constituind probabil vechea crustă a Lunii. În general, solul lunar s-a prezentat astronautilor sub trei forme principale: nisip, pietre și conglomerate compacte de roci denumite în geologie breccia (A. Dollfus).

Interesant de observat că primului echipaj aselenizat în 1969 solul i s-a părut „alunecos”. Acest lucru s-a explicat

ulterior prin prezența, în nisipul lunar, a unor bile cu aspect sticlos, de dimensiuni de ordinul zecimilor de milimetri, de culoare cafenie sau galbenă. Unele fragmente vitroase sînt eliptice sau de forma unor țigări. Această materie vitroasă reprezintă o treime pînă la un sfert din nisipul lunar. Iată o ipoteză în legătură cu formarea acestor particule: „Cînd un meteorit izbește cu viteza sa enormă suprafața Lunii, topește aproape în întregime zona atinsă. Solul este vaporizat în punctul de impact, lichefiat în vecinătatea sa și fragmentat în zona mai îndepărtată. Substanța vaporizată se condensează alcătuiind globuri vitroase, iar materia topită înglobează și sudează frînturile, alcătuiind brechiile” (G. Oudenot).

În orice caz, praful lunar, provenit se pare din șocurile corpurilor meteorice, este alcătuit din particule de mărimi diferite: 1) pulbere lunară; 2) fragmente de dimensiunile nisipului aluvionar; 3) fragmente mai mari: unele roci vulcanice, altele provenite din spargerea corpurilor meteorice. Uneori, pulberea lunară se aglomerează în mici mușuroaie sfărîmicioase, sub influența șocurilor repetate ale unor corpuri meteorice foarte mărunte. Rocile provin cîteodată din lavă răcită, purtînd urmele unor bule gazoase care le-au „umflat”, lăsînd mici cavități în urma lor. Cercetările directe au dovedit că *suprafața lunară este granulară, poroasă și rău conducătoare de căldură.*

Nisipul și pietrișul lunar sînt adesea cenușii, uneori brune — mai închise la culoare și mai abundente în Oceanul Furtunilor decît în Marea Liniștii, așa cum au constatat expedițiile astronautice. Rocile sînt în general cenușii, cîteodată cafenii, dar s-au găsit și unele portocalii și chiar roșii. Cele mai vechi roci lunare studiate sînt apreciate la 4,6—5 miliarde ani (regiunea Fra Mauro), față de 3,3 miliarde ani — vîrsta celor mai vechi roci terestre cunoscute. Rocile din zona mărilor sînt mai tinere decît cele din zonele muntoase. În compoziția lor, nu s-au găsit sedimente sau minerale hidratate care să indice apa ca element activ în formarea lor.

Seismografele instalate pe Lună de expediția „Apollo 12” și de alte expediții au înregistrat numeroase cutremure. Dintre acestea cele mai multe sînt de origine lunară, restul provenind din impactul corpurilor meteorice sau din alunizarea modulelor. Au fost identificate cu certitudine zece epicentre de cutremure lunare, dintre care unul deosebit de activ, la sud de zona de aselenizare a expedițiilor „Apollo” 12 și 14. Atracția Pămîntului la perigeu produce și ea cutremure, dislocînd mase lunare.

3. Mișcările Lunii

Ne-am referit la revoluția siderală (27 z, 7 h, 43 m), la revoluția sinodică (29 z 12 h 44 m) și la rotația Lunii ceva mai înainte. Dar acestea nu sînt singurele mișcări lunare, ele fiind multiple și de o mare complexitate. Au fost de aceea elaborate teorii complexe, ale mișcărilor Lunii.

Mai trebuie menționată *librația*, un fel de „balansare” a astrului nopții, mișcare aparentă față de poziția mijlocie a globului lunar. Este datorată unor multiple inegalități în mersul său, faptului că planul orbitei de revoluție al Lunii nu se confundă cu planul de revoluție al Terrei, înclinării axei lunare față de orbită, precum și rotației planetei noastre etc. Din cauza librației (mai bine zis „librațiilor”: în longitudine, în latitudine și diurnă sau paralactică), noi vedem de pe Pămînt nu 50% din suprafața Lunii, ci vreo 59%.

În mișcarea de revoluție a Lunii, viteza acesteia nu este constantă; ea se rotește mai mult sau mai puțin repede în jurul Pămîntului, după cum este, la un moment dat, mai mult sau mai puțin apropiată de Terra, ca și alte corpuri cerești ce evoluează pe orbite eliptice în jurul Soarelui. Din multitudine de mișcări efectuate de Lună, mai amintim: rotația orbitei lunare în propriul ei plan — 8 ani și 10 zile; precesia planului orbitei lunare în propriul ei plan — 18 ani și 224 zile; variația înclinației planului orbitei lunare față de eclip-

tică între $5^{\circ}0'$ și $5^{\circ}18'$ etc. Numeroase forțe perturbatoare, datorate atracției Pământului, Soarelui și planetelor, fac ca în condițiile deplasării Lunii să existe neregularități.

O, nu jura pe luna-nșelătoare

Ce-și schimbă fața-n fiecare lună...

excalmă eroina unei vestite tragedii a lui Shakespeare. Aluzia vizează fazele Lunii, observate de om, după cum am văzut, încă din zorile civilizației și utilizate ca un prim calendar ceresc. Acest fenomen luminos se explică prin proporția în care primește lumina Soarelui emisfera Lunii îndreptată spre Pământ. Cînd Luna se găsește de pildă între Pământ și Soare, partea îndreptată spre astrul luminos e scăldată în razele solare (pe aceasta noi nu o zărim însă); emisfera îndreptată spre noi e în schimb întunecată; avem de-a face cu faza de „Lună nouă”, de „Lună invizibilă”, cînd nopțile sînt lipsite de razele astrului argintiu. Pe măsură ce Luna evoluează pe calea ei de ocol în jurul Pământului, Soarele începe apoi să lumineze o mică zonă a emisferei lunare îndreptate spre noi. O vedem atunci ca o seceră luminoasă, dar îngustă, care se lărgeste treptat. Cînd, după circa șapte zile și nouă ore, Pământul, Luna și Soarele ajung să formeze un unghi drept, jumătate din discul Lunii apare luminat. Este faza denumită primul pătrar. Zona care apare luminată crește apoi treptat, pînă ce se ajunge ca Pământul să fie între Lună și Soare. Atunci toată fața Lunii îndreptată spre noi primește din plin razele solare și vedem discul lunar complet luminat; s-a produs faza de Lună plină. Ulterior începe descreșterea, trecînd prin faza ultimului pătrar, cînd Pământul, Luna și Soarele formează din nou un unghi drept, apoi vine un nou stadiu de seceră și în sfîrșit o nouă fază de invizibilitate (fig. 18).

„Partea întunecată” a Lunii nu este de fapt complet întunecată. Cînd Luna are forma unei seceri, atunci și restul discului lunar se observă sub forma unei lumini palide, discrete, așa-zisa „lumină cenușie”. Secole la rînd s-au făcut în această privință presupuneri fanteziste sau pur și simplu

greșite. După unii, aceasta era o dovadă că discul lunar e fosforescent. Marele astronom Tycho Brahé își închipuia că lumina cenușie oglindește strălucirea planetei Venus și alți savanți că e o răsfrângere a sclipirii stelelor. Astăzi se știe că explicația e cu mult mai simplă, ea fiind de altfel intuită încă de geniul lui Leonardo da Vinci: norii, cîmpurile, zăpada, oceanele planetei noastre reflectă puternic radiația solară, ca o oglindă îndreptată spre Cosmos, deci și spre Lună, corpul ceresc natural cel mai apropiat de noi. Putem deci spune că secera Lunii este partea discului lunar luminată de Soare, în timp ce zona cenușie este partea luminată de globul terestru (mai ales că în faza aceasta, emisfera terestră îndreptată spre Lună este aproape integral luminată). De pe Lună se observă, firește, „fazele Pămîntului“ — fazele Lunii și fazele Pămîntului fiind complementare (de exemplu „Luna nouă“ cu „Pămîntul plin“).

În sfîrșit, cîteva cuvînte despre eclipse. Ele se produc, așa cum unii învățați au înțeles încă din antichitate, fie atunci cînd Terra își aruncă umbra asupra Lunii (eclipse de Lună), fie atunci cînd discul Lunii maschează pe cel al Soarelui. Ca să se producă o eclipsă, este necesar ca Luna, Soarele și Pămîntul să fie aliniate, în același plan. Dacă Luna ar avea orbita exact în planul eclipticii, s-ar produce o eclipsă de Lună la fiecare Lună plină și o eclipsă de Soare la fiecare Lună nouă. Dar, cum se știe, planul orbital al Lunii face un unghi de $5^{\circ}9'$ cu cel al eclipticii și de aceea „alinierile“ se produc mai rar, fiind necesare două condiții: să fie Lună nouă sau Lună plină, iar Luna să se afle în planul eclipticii. Această condiție limitează numărul eclipselor. Anual se produc cel puțin 2 eclipse și maximum 7. În zece ani, se produc în medie 15 eclipse de Lună și 24 eclipse de Soare (eclipsele de Soare sînt mai numeroase, dar se zăresc numai dintr-o zonă limitată a Pămîntului, unde cade umbra lunară).

După cum am arătat în primul capitol, încă din antichitate prevederea eclipselor a fost posibilă, datorită regula-

rității repetării lor în timp, aceleași eclipse producându-se odată la 18 ani și 11 zile (ciclul Saros). Această perioadă corespunde unui număr de 223 revoluții ale Lunii în jurul Pământului.

Un fenomen datorat de asemenea în cea mai mare parte Lunii este acela al mareelor (fluxul și refluxul), rezultând din acțiunea combinată a Selenei și Soarelui — dar mai ales a celei dintii, care este mai apropiată de Pământ. Luna atrage, „umflă“, masele de apă terestre care sînt în fața ei, ca și pe cele aflate pe partea opusă.

D. SOARELE

1. Date fundamentale

„Omul are toate temeiurile să se considere un fiu al Soarelui“, scria la sfîrșitul secolului trecut savantul rus K.A. Timiriazev, arătînd că mai toate procesele care se petrec pe Pământ depind de acesta, de la circulația aerului în atmosferă și circuitul apei în natură, pînă la formarea combustibililor și dezvoltarea formelor de viață*. Dealtfel, acest lucru a fost intuit din vechi timpuri, ceea ce explică în parte cultul Soarelui, practicat în mod curent, nu numai de popoarele antichității, dar chiar și anterior, în epoca primitivă.

Ultimele secole, dar mai ales veacul nostru, au dezvoltat considerabil cunoștințele despre acest astru, ajungînd chiar să permită — după cum am mai arătat — înțelegerea structurii interioare și formularea de teorii despre sursa energiei solare — ceea ce constituie realizări fundamentale ale științei moderne. Deși mai există încă numeroase aspecte contro-

* Singura sursă de energie independentă de Soare descoperită de om este cea nucleară.

versate, informațiile care s-au acumulat sînt atît de numeroase, încît numai cu greu și incomplet vor putea fi rezumate în cele cîteva pagini pe care i le poate consacra un ghid care încearcă să schițeze structura întregului Univers.

Astrul care guvernează gravitațional mișcarea de revoluție a planetelor sistemului nostru și constituie izvorul energiei de care ele beneficiază ne oferă posibilitatea unică de a studia de aproape o stea. Căci Soarele este o stea, ca toate stelele. Dar pe cînd toate celelalte stele apar, chiar privity la telescop, punctiforme, astrul zilei apare, chiar privit cu ochiul liber, ca un disc. Cea mai apropiată stea din afara sistemului solar se află la o distanță de circa 4 ani-lumină de noi, în timp ce de la Soare la Pămînt lumina face — cum arătam — doar 8 minute și 18 secunde.

În studiul Soarelui, o serie de momente s-au dovedit cruciale: utilizarea lunetei în astronomie de către Galilei (1610); folosirea spectroscopului în cercetarea Soarelui de către Fraunhofer (1814); inventarea spectroheliografului (1891) și, mai recent, inventarea coronografului lui Lyot (1930); descoperirea caracterului periodic al activității solare; descoperirea emisiunii radio a Soarelui; elaborarea ipotezelor asupra proceselor nucleare care generează energia solară. În sfîrșit, în 1975 și 1976, stațiunile interplanetare Helios 1 și Helios 2 au efectuat cercetări asupra Soarelui — prima de la 46 milioane kilometri, a doua de la 6 milioane kilometri de Soare, cu rezultate foarte importante.

Iată cîteva date fundamentale despre Soare:

Distanța de Pămînt

— mijlocie	149,6 milioane km
— maximă	152,1 milioane km
— minimă	147,1 milioane km

Inclinația axei de rotație față de planul eclipticii 82° 48' 30"

Diametrul

— aparent	31' 59"
— real	1,392 milioane km

Volumul	$1,412 \cdot 10^{18} \text{ km}^3$
Masa	$1,99 \cdot 10^{33} \text{ g}$
Densitate mijlocie	$1,41 \text{ g/cm}^3$
Accelerația gravitației la suprafață	$27,398 \text{ cm/s}^2$
Durata medie a rotației	
— siderală	25,38 zile
— sinodică	27,275 zile
Viteza mișcării față de stelele apropiate....	$19,4 \text{ km/s}$
Luminozitate	
totală	$3,86 \cdot 10^{33} \text{ erg/s} =$ $= 3,86 \cdot 10^{23} \text{ kW}$
pe cm^2 de suprafață solară	$6,35 \cdot 10^{10} \text{ erg/cm}^2\text{s} =$ $= 6,35 \text{ kW/cm}^2$
constantă solară	$1,374 \cdot 10^6 \text{ erg/cm}^2\text{s} =$ $= 1,97 \text{ cal/cm}^2\text{/min} =$ $= 1,374 \text{ kW/m}^2$
Tipul spectral	G 2
Temperatura efectivă	5800°K

Pentru a aprecia ce reprezintă unele dintre aceste numere și date fundamentale, câteva explicații și comparații sînt necesare. Variația distanței Soare-Pămînt se explică prin forma eliptică a orbitei acestuia din urmă, distanța minimă fiind cea din periheliu (începutul lui ianuarie), iar cea maximă din afeliu (începutul lui iulie). Diametrul real al Soarelui întrece de 109,24 ori pe cel al Terrei și este chiar de 3,6 ori mai mare decît distanța Pămînt-Lună. Volumul Soarelui întrece de circa 1,3 milioane ori volumul Pămîntului, iar masa Soarelui întrece de 333 mii de ori masa Pămîntului. Densitatea Soarelui este ceva mai mare decît a apei, dar nu reprezintă decît cam $1/4$ din densitatea medie a Pămîntului. Un corp ajuns la suprafața Soarelui ar cîntări de circa 28 ori mai mult decît pe Terra, datorită accelerației gravitației, mult sporită. Prin constantă solară se înțelege cantitatea totală de radiație solară care cade pe o suprafață dispusă perpendicular pe razele solare, la exte-

riorul atmosferei terestre, la distanța medie Soare-Pământ.

În ce privește rotația în jurul propriei axe, pe care deplasarea petelor solare o pune în evidență*, ea este de 27 zile, dar aceasta este rotația sinodică, căci în acest timp și Pământul s-a deplasat pe orbită. Rotația siderală este de aceea sensibil mai mică. Totodată, Soarele nu se rotește ca un corp solid, ci cu viteze diferite, după latitudini. Perioada crește (iar viteza scade) dinspre ecuator spre poli, ceea ce este explicabil în raport cu „viscozitatea“ masei sale. Iată un tabel care exprimă această diferență pe baza studiului petelor solare (după D. Godillon):

Latitudinea	Durata de rotație (în zile)
0°	24,9
5°	24,9
10°	25
15°	25,2
20°	25,4
25°	25,6
30°	25,9
35°	26,2
40°	27,5
60°	31
75°	33,1
85°	34

Soarele se deplasează în spațiul cosmic, față de stelele apropiate, într-o direcție denumită „apex“ solar, cu 19,4 km/s (mișcarea peculiară). Împreună cu stelele din vecinătatea sa, Soarele mai efectuează o mișcare de revoluție în jurul nucleului galactic, antrenând cu el întregul sistem planetar.

* De asemenea efectul Doppler-Fizeau.

Temperatura Soarelui este diferită în deosebitele straturi solare: se consideră însă esențială aceea a fotosferei, pentru care aprecierile variază în jurul a $5\,800^{\circ}\text{K}$. Această este socotită temperatura efectivă a Soarelui. În interiorul Soarelui, temperatura atinge valori mult mai înalte.

În ce privește compoziția chimică a Soarelui, elementele chimice ușoare sînt mai numeroase decît pe Pămînt. După anumite evaluări, hidrogenul reprezintă cca. 81,76 %, iar heliul 18,17 %, urmate de oxigen, neon, magneziu, azot, siliciu, carbon, sulf etc. Studiul spectral al Soarelui a putut fi îmbogățit în ultimul deceniu prin observații efectuate cu ajutorul rachetelor spațiale, descoperindu-se, de pildă, o nouă linie de emisie a hidrogenului.

Fiecare centimetru pătrat al suprafeței solare are o luminosităate de 50 000 luși, întregul astru putînd fi asemuit unui gigantic reflector de $3 \cdot 10^{27}$ luși. De la un singur metru pătrat din suprafața Soarelui vine tot atîta lumină cît ar produce 1 milion de becuri electrice. Soarele radiază cca. 6,35 kW pe cm^2 . Fenomenul întunecării spre margine a discului solar se explică prin faptul că radiațiile care vin din centrul discului solar pornesc de la straturi mai adînci și mai fierbinți în comparație cu cele de la margine.

2. Structura Soarelui

Cunoașterea structurii Soarelui, realizată prin analogie cu studiul stelelor pe de o parte și pe de altă parte prin dezvoltarea unor considerente teoretice și tehnici ingenioase, reprezintă o importantă victorie a cunoașterii omenești din ultimul secol.

Multe semne de întrebare le mai ridică încă partea interioară a Soarelui, inaccesibilă observațiilor directe, optice,

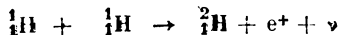
studiată însă teoretic. Acesta este „globul solar” propriu-zis, înconjurat la exterior de așa-zisa „atmosferă solară”, alcătuită din mai multe straturi, studiate prin observații („atmosferă solară”, deși imensă, reprezintă doar a zecea miliarda parte din masa Soarelui).

În zona interioară a Soarelui, temperatura este apreciată la 15 milioane grade, presiunea fiind de mai multe miliarde de atmosfere, iar densitatea întrecind de cea 100—240 ori pe aceea a apei. În aceste condiții excepționale, aci se produc intense reacții termonucleare, care sînt la obirșia energiei solare*. Este vorba de transformarea hidrogenului, disponibil în mari cantități în Soare, în heliu. Două reacții termonucleare de bază au fost descoperite în această privință: reacție proton-proton (Bethe și Critchfield — 1938) și ciclul carbon-azot (Weizsäcker și Bethe — 1938—1939). După M. Dumont, 90% din energia solară se formează în primul proces și 10% în cel de-al doilea. În primul caz, iau naștere succesiv deuteriu, heliu He^3 și în sfîrșit obișnuitul He^4 , în cel de al doilea caz, patru protoni se transformă în heliu**.

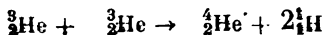
* Anterior se presupunea că energia solară s-ar datora unor procese de combustie sau contracției Soarelui. Dar în prima ipoteză, Soarele s-ar fi epuizat în doar cîteva mii de ani, iar în cea de-a doua în circa 20 milioane ani.

** Iată detaliile celor două reacții, pentru cei interesați:

Reacția proton-proton



hidrogen deuteriu



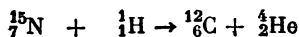
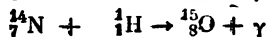
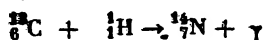
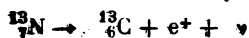
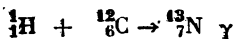
heliu

Pe lângă energia radiantă, în cadrul celor două reacții se formează cinci infime particule neutrino, de masă considerată practic nulă, dar de energii destul de mari (3% din energia solară).

Cantitatea de energie nucleară eliberată este enormă: un singur gram de hidrogen prefăcut în heliu produce energia echivalentă cu aceea rezultată din arderea a 15 tone de benzină. Or, sute de milioane de tone de hidrogen se prefac în heliu în Soare în fiecare secundă. Soarele reprezintă deci, ca și celelalte stele, o gigantică fabrică de heliu, și prin aceasta, un generator de energie de mari proporții. Rezervele de hidrogen ale Soarelui sînt atît de mari, încît vor ajunge pentru desfășurarea acestui proces miliarde de ani. Transferul energiei din miezul Soarelui spre exterior reprezintă un fenomen complex. Fiecare strat absoarbe radiația electromagnetică a celui anterior, dînd naștere unei noi emisiuni, cu o lungime de undă tot mai mică.

Masa echivalentă energiei radiate de Soare într-o secundă este de 4—5 milioane tone, din care cca. 5 kg/s ajung pe Pămînt. „Razele solare poartă cu ele masă solară, scria S.I. Vavilov. Lumina nu este un trimis al Soarelui, ci însuși Soarele, o parte a lui“. Cea mai abundentă radiație este cea luminoasă și cea ultravioletă, la care se adaugă raze X și gamma, radiații infraroșii și unde radioelectrice, fluxuri de particule (ioni și electroni).

Ciclu carbon — azot



STRATURILE SOARELUI*

Denumirea stratului	Înălțimea sau adâncimea față de „suprafața” Soarelui (km)	Natura stratului	Formațiuni pe care le cuprinde
Partea interioară a Soarelui	Sub fotosferă	Plasmă solară, inaccesibilă observațiilor directe; se studiază teoretic, prin analogie cu alte stele	
Fotosfera	—	Strat opac de plasmă, care emite radiații intense, cu spectru continuu. Alcătuiește „suprafața” aparentă a globului solar	granule, pete, facule
Stratul inversant	0—500 peste fot.	Plasmă rarefiată: În timpul eclipselor de Soare, dă spectrul fulger	
Cromosfera	500—15 000 peste fot.	Plasmă și mai rarefiată, observabilă în timpul eclipselor ca un val roz	Spiculi, granule și erupții cromosferice
Coroana solară	Începînd de la 15 000	Materie rarefiată care înconjoară Soarele. În timpul eclipselor totale, se vede ca o lumină argintie, transparentă	Protuberanțe, șuvoaie, cupole

Straturile solare care formează atmosfera sînt direct observabile. Acestea sînt, dinspre interior spre exterior: *fotosfera*, *cromosfera* și *coroana solară***, a căror compoziție chimică a putut fi în parte elucidată datorită spectroscopiei.

* Tabelul este alcătuit, în linii generale, după V. V. Șaronov

** După unii specialiști, numai cromosfera și coroana ar alcătui atmosfera solară, fotosfera fiind un strat intermediar între aceasta și globul solar.

Fotosfera are o grosime relativ mică, aproximativ 4—500 km (după M.A. Ellison, numai 100—200 km). Etimologic, denumirea înseamnă „sferă de lumină” — de la cuvintele grecești „fotos” și „sferos”. Într-adevăr, de la acest înveliș solar este emisă lumina în spațiul cosmic și cea mai mare parte a radiației solare. Când ne-am referit la dimensiunile Soarelui, am avut în vedere acest strat, considerat adesea „suprafața Soarelui”. Fotosfera este opacă, așa încît instrumentele optice nu pot pătrunde mai adînc decît ea. Plasma fotosferică este alcătuită din electroni și atomi ionizați, iar temperatura ei se apropie de $6\,000^{\circ}$. Dedesubtul fotosferei se află o „zonă convectivă”, a cărei existență este confirmată de inegalitățile de strălucire fotosferice.

Printre formațiunile fotosferice, cele mai cunoscute sînt petele solare, prioritatea descoperirii lor fiind controversată (Galileo Galilei, Christoph Scheiner, JohanŃ Fabricius și Harriot). În realitate, descoperirea petelor (cu ochiul liber, cînd strălucirea Soarelui e atenuată de fum sau ceață), aparține astronomilor chinezi, ele fiind menționate în cronici începînd din anul 188 e.n. Deși aspectul lor este variabil, în general sînt alcătuite dintr-un nucleu (umbra) și un briu înconjurător (penumbra). Petele solare sînt mai întunecate decît restul fotosferei, deoarece au o temperatură mai scăzută (vreo $4\,000$ — $4\,500^{\circ}$). Apar izolate, dar și în grupuri. Petele solare au cîmpuri magnetice foarte intense — a căror origine nu este încă clarificată — și sînt în general concepute ca niște vîrtejuri prin care gaze și torente de energie se revîrsă din adîncuri spre fotosferă, răspîndindu-se la suprafața ei. Existența petelor solare variază între cîteva ore și cîteva luni.

O deosebită importanță prezintă periodicitatea petelor solare, stabilită de H.S. Schwabe și R. Wolf la 11,2 ani. Aceasta este și periodicitatea așa-zisei „activități” a Soarelui, cînd și o serie de alte fenomene solare se intensifică considerabil (este o valoare medie, care poate varia de la 7 ani — 1830—1837 — și pînă la 17 ani — 1787—1804).

În fotosferă mai pot fi văzute așa-zisele „boabe de orez” sau „granule”, luminoase și ușor alungite, cu o temperatură cu circa 300° , mai ridicată decît spațiul dintre ele. Au o existență efemeră (cîteva minute), dar sînt în schimb foarte numeroase: circa 2 500 000. Este vorba de mase de plasmă fierbinte, care se ridică sub forma unor curenți de convecție, la suprafața fotosferică (după V.A. Krat, granulația nu e de natură convectivă, ci ondulatorie). Alte formațiuni, de asemenea mai luminoase și mai calde decît restul fotosferei, cu o viață mai îndelungată decît granulele, sînt faculele, cu aspect de fulgi, vinișoare sau pete amorse.

Imediat superior fotosferei, se află *stratul inversant*, ai cărui atomi absorb o parte din radiația fotosferei, dispersînd-o în toate direcțiile și chiar întorcînd-o parțial în aceasta. În scurtul interval al unei eclipse totale de Soare, cînd discul lunar a acoperit marginile fotosferei, se înregistrează așa-zisul „spectru-fulger”, în care liniile luminoase corespund liniilor întunecate Fraunhofer ale spectrului solar curent, asemenea negativului unei fotografii față de copia pozitivă (de aici numele stratului). Stratul inversant poate fi considerat ca un fel de continuare a fotosferei.

Cromosfera, cel de-al doilea strat important al atmosferei solare, are o grosime de circa 15 mii km și apare ca o aureolă roșiatică în jurul discului solar (vizibilă în timpul eclipselor sau cu ajutorul spectroheliografului), o masă de gaze în continuă agitație, asemănată uneori cu o „cîmpie în flăcări”. Nenumărate limbi și șuvoaie de materie, azvîrlite din fotosferă și căzînd ulterior înapoi, o străbat cu viteze de zeci de kilometri pe secundă. „Șpiculii”, care se ridică continuu din cromosferă, spre a dispărea pentru totdeauna, dau marginii ei exterioare un aspect de perie. Mai există și „granule cromosferice”. „Floculele” sînt formațiuni strălucitoare, alcătuite din vapori de calciu sau de hidrogen.

Printre fenomenele cele mai spectaculoase care iau naștere în cromosferă, se numără „erupțiile cromosferice”, elemente importante ale activității solare, vizibile ca o

bruscă intensificare a strălucirii unor regiuni din atmosfera solară, de unde se ridică limbi luminoase. Ele pătrund, cu partea lor superioară, în coroană. Erupțiile cromosferice, adevărate explozii solare (datorate probabil unor procese nucleare), sînt o sursă puternică de unde electromagnetice, radiații ultraviolete și corpusculare — printre acestea din urmă numărîndu-se și particule de mare energie, prezentînd un pericol potențial pentru astronauti (cele mai puternice erupții dezvoltă o energie totală apreciată la 10^{31} — 10^{32} ergi).

Cromosfera se împarte în două zone: cea inferioară, mai rece, și cea superioară, mai fierbinte (pînă la $20\,000^\circ$). Analiza spectroscopică a detectat aci hidrogen, potasiu, calciu ionizat și în sfîrșit heliu. Spectroheliogramele, adică fotografiile Soarelui într-o lumină monocromatică, alcătuite într-o singură lungime de undă, permit studiul direct al unor straturi cromosferice. Filtrul interferențial, inventat de Lyot, a ușurat și el cercetarea cromosferei.

Tot în cromosferă apar, dar se ridică departe în coroana solară unde își desfășoară principala lor formă, protuberanțele, de forme variate: evantaie, șuvoaie, bolți, jerbe, nori, fîntîni arteziene. Cîteodată ating înălțimi care depășesc raza Soarelui. Își schimbă uneori forma în cîteva minute, iar alteori rămîn neschimbate luni de zile. Aceste „flăcări ale cerului“, care se pare că sînt reprezentate pe monumente ale Egiptului antic, sînt clasificate în trei categorii principale:

- protuberanțe eruptive, cu evoluție rapidă;
- protuberanțe metamorfice sau liniștite, relativ calme;
- protuberanțe electromagnetice, aflate sub influența liniilor de forță ale cîmpurilor magnetice ale grupurilor de pete solare.

Nașterea protuberanțelor nu a fost încă pe deplin explicată, existînd mai multe ipoteze privind geneza lor (intensificarea locală a presiunii de radiație a Soarelui, condensarea materiei coronale etc.). „Filamentele“ care se observă spectroheliografic par a nu fi altceva decît protuberanțe proiectate

pe fondul luminos al discului solar. Arată ca niște fișii și creste lungi și întinse. Grupurile de formații cuprinzând pete, facule, erupții, protuberanțe, alcătuiesc „centre de activitate” ale Soarelui; ele au câmpuri magnetice proprii, sint surse de radiații ultraviolete și radioelectrice, emit jeturi corpusculare și se supun ciclurilor activității solare, avind maxime și minime.

Cel mai exterior înveliș al atmosferei solare și cel mai vast în același timp, este *coroana solară*, asemenea unei cunune de raze, vizibilă cu prilejul eclipselor totale de Soare. Imaginea „Soarelui înaripat” se vede chiar și pe monumente vechi de milenii și o descriere deosebit de minuțioasă a acestui fenomen a dat-o Johann Kepler, care l-a observat cu ocazia eclipsei produse în 1605. În anul 1869, coroana solară a și fost fotografiată; de atunci studiul ei intensificându-se. Este vorba de un înveliș deosebit de rarefiat, în care gazele și radiațiile se deplasează cu viteze enorme. Are o temperatură foarte ridicată — până la 2 milioane grade. — și o formă foarte schimbătoare. Strălucirea coroanei este de cca. un milion de ori mai slabă decât a fotosferei. Circulară în perioada de maximum a activității solare, coroana prezintă extensiuni ecuatoriale în timpul activității minime (când în regiunile polare ale Soarelui apare așa-zisa „iarbă polară”, alcătuită din raze scurte, „țepoase”). Una din cele mai interesante fotografii ale coroanei solare a fost obținută la 10 iulie 1972 la Anadir (U.R.S.S.), prin colaborarea oamenilor de știință francezi și sovietici.

După cunoștințele actuale, principalele elemente ale compoziției coronare sint atomi ionizați (de hidrogen în primul rând, dar și de fier, nichel, calciu, argon), ca și atomi neutri și electroni liberi. Coronograful lui Lyot a permis studiul destul de aprofundat al acestui înveliș. Se știe, de pildă, astăzi că radiația de radiunde a Soarelui în gama undelor metrice apare în coroană, după cum cea centimetrică își are originea în cromosferă. Se deosebește coroana *K* (internă) și coroana *F* (externă).

Coroana solară se extinde pînă la cîteva raze solare, dar, după unele ipoteze, și mult mai departe. În cursul eclipselor, au fost fotografiate „flăcări coronare“, extinse pînă la 14 raze de Soare. În capitolul privitor la mediul interplanetar, prezentăm elemente suplimentare cu privire la acest strat solar. În zonele cu temperaturile cele mai înalte, atomii își pierd electronii, gazul aflîndu-se într-o stare de plasmă.

3. Soarele și Pămîntul

Soarele are o influență multilaterală asupra Pămîntului. Trebuie în primul rînd să observăm că fluxul solar se caracterizează printr-o mare constanță. Variațiile periodice ale „activității“ solare sînt mici față de radiația totală a astrului zilei, a cărei existență face cu puțință — cum arătam încă la început — covîrșitoarea majoritate a proceselor ce se desfășoară pe Terra, inclusiv cele ale vieții. Chiar și hrana nu reprezintă — după cum arăta un biolog — în ultimă analiză — decît „raze de Soare conservate“. Emisiunea ultravioletă și cea corpusculară ale Soarelui produc ionizarea stratelor superioare ale atmosferei terestre, dînd naștere ionosferei, cu stratele ei caracteristice. Înălțimea și densitatea acestor strate suferă variații periodice, corespunzătoare perioadei diurne a rotației Soarelui, ciclului anotimpurilor și ciclului de 11 ani. Marile erupții cromosferice produc o intensificare deosebită a stratului ionosferic D (aflat la 60—90 km altitudine), ceea ce duce la efectul Mōgel-Dellinger; datorită acestuia, transmisiunile radiofonice pe unde scurte slăbesc sau încetează cu totul, prin absorbirea undelor hertziene respective, după cum suferă perturbări și transmisiunile pe unde lungi. Cîmpul magnetic al Pămîntului este adesea perturbat de emisiunea corpusculară a Soarelui, cele mai puternice perturbații fiind furtunile magnetice. „Magnetosfera“ — după cum a denumit-o profesorul T. Gold — care începe de la ionosferă și ajunge pînă la 10—20 raze

pămîntești, cuprinzînd nori de gaz ionizat și particule în mișcare rapidă, este zona de influență a cîmpului magnetic terestru; fluxurile provenite de la Soare „împing înapoi liniile magnetice de forță și modelează cîmpul terestru, acesta devenind un obiect de o formă corespunzătoare direcției curentului solar, extinzîndu-se mai ales pe partea de noapte a planetei“ (John Winckler, în *Discovery*, nr. 12/1963).

De remarcat că *nu întotdeauna* anumite fenomene intense ale activității solare (de pildă trecerea unui grup mare de pete prin meridianul central al discului solar) produc efecte geofizice corespunzătoare. Explicația este aceea că radiația corpusculară a Soarelui, care are un rol însemnat în această privință, nu părăsește în mod uniform astrul zilei, ci în „evantai“, în fascicule dirijate divergent, care pot să atingă sau nu atmosfera Terrei. În general însă, paralelismul dintre intensificarea „activității solare“ și a fenomenelor geofizice este un fapt curent (un maximum al acestei activități s-a produs în 1979—1980).

Aurorele polare se produc atunci cînd fluxul corpuscular încărcat electric provenit de la Soare este deviat, în cîmpul magnetic al Pămîntului, spre zonele polare, unde efectuează mișcări în spirală. În lumina concepției despre magnetosferă, acest proces apare mai clar decît în trecut. În păturile superioare ale atmosferei, corpusculii provoacă ionizarea și implicit luminiscenta moleculelor de gaze. Totodată, cercetări recente au arătat că aurorele polare se datorează și luminiscentei proprii a ionilor de calciu proveniți din Soare.

Există încă multe aspecte ale influenței Soare-Pămînt insuficient lămurite. Astfel, legătura dintre ciclul activității solare și unele fenomene meteorologice (precipitații, formarea ciclonilor, variațiile climei în general) este încă în curs de studiu. Nu există încă o explicație satisfăcătoare nici pentru anumite fenomene particulare; se citează, de pildă, creșterea nivelului apelor lacului Victoria (Africa) în perioada de maximum a dezvoltării petelor solare.

Medicina consemnează și ea influențe incontestabile. Statistici efectuate în ultimele decenii arată că în zilele în care Soarele provoacă perturbații magnetice intense în atmosferă, numărul accidentelor cardiace și cerebrale este mai mare (Helmut Berg). Se cercetează, cu rezultate încă controversate, influența activității solare intense asupra unor proprietăți ale singelui și asupra bolilor infecțioase. În general însă, componenta cosmică, și în primul rând solară, a patologiei umane este încă o taină, deși e probabil că în viitor va contribui la înțelegerea evoluției multor maladii.

Și în lumea vegetală, „activitatea” solară își înscrie în multe privințe efectele; studiul respectiv se află însă abia la începuturile sale. Dacă se taie o secțiune prin trunchiul anumitor copaci, observindu-se inelele anuale de creștere, se obține adesea o configurație în care fiecare al unsprezecelea inel este mai gros decât celelalte.

În perioada de după cel de-al doilea război mondial, s-au întreprins mari acțiuni internaționale pentru studiul Soarelui și al relației Soare-Pământ: Anul Geofizic Internațional (1957—1958), Colaborarea Geofizică Internațională (1959), Anul Internațional al Soarelui Calm (1964—1965). Pe de altă parte, studiul Soarelui cu ajutorul mijloacelor puse la dispoziție de astronautică, dincolo de ecranul atmosferei terestre, este în plină desfășurare. Astfel, s-a putut de pildă studia, cu bune rezultate, radiația ultravioletă a astrului zilei, pe care pătura de ozon ce înconjoară Pământul o absoarbe în cea mai mare parte. Sateliți ai Pământului au fost anume specializați în observații solare (de pildă sateliți O.S.O., lansați de N.A.S.A.), numeroase sonde spațiale includ „programe solare” în activitatea lor, misiunea laboratorului spațial Skylab, începută în 1973, de asemenea. Am amintit de asemenea de stațiile interplanetare Helios 1 și Helios 2, care s-au apropiat în 1975—1976 considerabil de Soare.

Vîrsta Soarelui este apreciată la circa 6 miliarde de ani. În ce privește viitorul său, în stadiul actual al cunoștințelor se prevede că radiația sa nu se va modifica sensibil față de cea actuală, cel puțin încă 4—5 miliarde de ani.

E. PLANETELE

Despre planete în general, am făcut unele considerații în primul paragraf al acestui capitol, cînd s-au prezentat și datele fundamentale ce le caracterizează, într-un tabel sintetic. Fără îndoială că pentru noi, planetele sînt membrii cei mai importanți ai sistemului solar și cunoașterea lor temeinică, în viitoarele decenii, datorită cercetărilor spațiale, va permite o lărgire considerabilă a orizontului uman. Deocamdată, singurele planete (în afara Terrei) a căror suprafață a putut fi studiată telescopic sînt Marte și intrucitva Mercur, datorită atmosferelor lor rarefiate. Pentru celelalte, bariera atmosferică a constituit o stavilă și pînă acum ne-am mulțumit să cercetăm de pildă zona exterioară a atmosferei lui Jupiter sau Saturn și să facem supoziții, uneori contradictorii, privind constituția globului planetar propriu-zis. La aceste elemente, s-au adăugat importante date obținute de stațiile interplanetare în ultimii ani, inclusiv fotografii de însemnătate epocală.

Să trecem acum la prezentarea planetelor, de la cea mai apropiată la cea mai depărtată de Soare.

1. Mercur

Mercur, cea mai mică dintre cele nouă planete cunoscute, cu un diametru determinat prin radar la numai 4 878 km (circa 30% din diametrul Terrei) este foarte greu observabil

de pe Pământ, datorită mării sale apropieri de Soare. E cercetat telescopic mai ales în momentul crepusculului, dar atunci înălțimea sa deasupra orizontului e foarte mică. Unii specialiști au preferat de aceea să-l observe ziua. Diametrul aparent variază între 5" și 15", după depărtarea față de Pământ.

Nu vom reveni asupra datelor fundamentale privind planeta, enumerate în primul paragraf, mulțumindu-ne însă cu unele comentarii ce se impun. Am arătat că excentricitatea orbitei mercuriene este foarte mare — a doua, după Pluton, dintre toate planetele — ceea ce face ca distanța sa față de Soare să varieze între 46 și 70 milioane kilometri. Practic, aceasta înseamnă că, în punctul cel mai apropiat, la periheliu, Mercur primește de circa 2,3 ori mai multă energie solară decât la afeliu. Datorită acestui lucru, planeta cunoaște fenomenul anotimpurilor, în ciuda faptului că axa polilor este perpendiculară sau aproape perpendiculară pe planul orbitei de revoluție, dar același anotimp domnește simultan, în emisfera nordică ca și în cea sudică. În paranteză fie spus, la periheliu Mercur primește o radiație solară de circa 10 ori mai intensă decât Terra. Este cert că rotația planetei în jurul propriei axe se face lent. Până în 1965, durata acesteia era apreciată la 88 zile, ceea ce ar fi însemnat că rotația este egală cu revoluția pe orbită. Deci Mercur ar fi prezentat Soarelui (ca și Luna Pământului) mereu aceeași față, pe emisfera îndreptată spre astrul zilei dominind o temperatură foarte ridicată, unele roci topindu-se literalmente, iar pe cea opusă Soarelui — un veșnic ger. Radarul a venit însă în ajutorul științei, arătând că rotația se face probabil în 59,7 zile; deci în timp ce săvârșește trei rotații în jurul axei sale, Mercur înconjoară de două ori Soarele, ceea ce înseamnă că totuși zonele-expuse astrului zilei se schimbă, desigur foarte lent.

Ca și Luna sau Venus, Mercur prezintă pentru observatorul de pe Pământ, *faze*. Totodată, la suprafața planetei au fost observate de pe Terra, pe bază de desene și chiar de fotografii, unele detalii care apar constant — zone luminoase și întunecate —, deși acestea sînt puțin numeroase.

Albedoul destul de coborît (0,055) a indicat încă de mult existența unor substanțe vulcanice, destul de întunecate. Coroborându-se această trăsătură cu caracteristicile de polarizare ale planetei, s-a presupus că suprafața mercuriană este foarte accidentată, muntoasă, similară celei lunare. Totodată au fost postulate mari diferențe de temperatură: sute de grade pe emisfera luminată de Soare, temperaturi foarte scăzute pe cea întunecată.

Aceste presupuneri au fost confirmate, dar în același timp precizate și completate datorită uneia dintre cele mai importante realizări ale astronauticii. În martie 1974, stația interplanetară Mariner 10 s-a apropiat de cea dintâi până la 670 km de suprafața lui Mercur, transmițând pentru prima dată fotografii ale planetei, ca și date privind atmosfera și câmpul magnetic, temperatura etc. Ipotezele au putut astfel fi înlocuite prin certitudini. Fotografiile au evidențiat un relief agitat, cu numeroase circuri mai mici și mai mari, cu munți, depresiuni, falii, bazine. Craterele, îi dau lui Mercur, ca și Lunii, înfățișarea unui obraz „mușcat de vărsat”. Un bazin întins, cu diametrul de 1 300 km, străbătut de crăpături circulare și radiale, pare să fi fost produs de căderea unui asteroid (pe fața opusă a planetei s-a produs o ridicătură). Aflată într-o zonă de intensă circulație meteorică, datorită apropierii Soarelui, Mercur suferă frecvent impactul acestor corpuri, care îi marchează relieful. Tot aceste impacturi explică probabil scinteierile de scurtă durată, observate de astronomii de pe Pământ, pe partea întunecată a micii planete.

Multe clarificări au fost aduse de Mariner 10 și în ce privește atmosfera planetei. Se presupunea o atmosferă extrem de rarefiată, ceea ce s-a confirmat (presiunea reprezintă 10^{-7} din cea terestră). Principalul constituent este heliul, la care trebuie adăugat argonul. Vântul solar, deși mai puțin intens ca efect la suprafața planetei decât s-a crezut, produce un mediu specific.

O descoperire importantă este aceea a câmpului magnetic, a magnetosferei mercuriene, destul de intensă. Dacă la această

adăugăm densitatea ridicată a planetei, ipoteza unui nucleu din fier apare ca verosimilă.

Pe de altă parte, numeroase formațiuni de relief reprezintă efectele unui vulcanism intens.

E drept, nici diametrul și nici masa acestei planete nu au putut fi determinate cu precizie, deci nici densitatea ei. Totuși, dacă se admite densitatea de $5,46 \text{ g/cm}^3$, apropiată de cea terestră, trebuie acceptată și existența în globul mercurian a unor elemente grele, inclusiv a elementelor radioactive. În interiorul planetei, temperatura este desigur foarte ridicată.

Astrele cele mai luminoase pe bolta mercuriană sînt — după Soare — Venus și Pămîntul.

2. Venus

Planeta Venus, denumită popular Luceafărul, este cu mult mai ușor vizibilă decît Mercur. De 15 ori mai luminoasă decît cea mai luminoasă stea, ea poate fi observată cu ochiul liber chiar *în plină zi* (dealtfel are și un albedo foarte ridicat, de peste zece ori mai mare decît Mercur). Privită prin lunetă, planeta este de un alb strălucitor. Ca și cealaltă planetă interioară, ea prezintă faze, ușor de deosebit prin instrumente. Utilizînd limbajul cifrat al anagramei din pricina persecuțiilor bisericești, Galilei i-a trimis lui Kepler, după observarea ei prin lunetă, o scrisoare care conținea următoarele: „Haec immatura a me, iam frustra, leguntur — o.y.“, ceea ce însemna „Aceste lucruri nu sînt încă prea limpezi pentru mine“. Dacă regrupăm însă literele textului latin, ceea ce Kepler a și făcut, acesta devine: „Cynthiae figuras aemulor Mater Amorum“, ceea ce înseamnă „Mama dragostei (Venus) imită figurile Cynthiai (Lunii)“. Este vorba, evident, de fazele venusiene, observate de marele savant italian prin lunetă. Pentru partizanii geocentrismului, care nu aveau motive să

creadă că o planetă poate să apară uneori ca un corn, aceasta era o grea lovitură (e drept să amintim că și Copernic prezisese descoperirea fazelor lui Venus).

După cum se poate vedea din tabelul planetar al primului paragraf din acest capitol, Venus este planeta vecină cea mai apropiată de Pământ, căci ea se apropie pînă la cca. 37,24 milioane kilometri de Terra. Din același tabel, rezultă că diametrul, masa și densitatea lui Venus sînt cu puțin inferioare acelorale ale Pămîntului (s-ar putea ca datele respective să mai sufere corecturi, totuși Venus pare o „soră geamănă” a Terrei). Excentricitatea orbitei, spre deosebire de a lui Mercur, este mică (0,007), mai precis cea mai mică din întreg sistemul planetar. Aceasta înseamnă că elipsa pe care planeta Venus o descrie în jurul Soarelui e foarte apropiată de un cerc.

Din păcate, petele albe și întunecate pe care le zărim prin telescop nu constituie suprafața planetei, ci atmosfera (cu mult mai densă decît cea terestră) și stratul ei de nori; de aceea, Venus mai este și astăzi una dintre cele mai controversate planete; expunînd cunoștințele despre ea, expunem, firește datele care s-au strîns pînă în momentul de față, susceptibile, probabil, unor noi precizări. Este probabil ca datorită vîlului dens de nori, de la suprafața planetei aștrii cerului să nici nu se zărească. Unii cercetători presupuneau că ziua la suprafața lui Venus este asemănătoare cu ambianța unui amurg terestru, dar acest lucru a fost infirmat de fotografiile, de o extremă limpezime, obținute de stațiile interplanetare de pe solul planetei (octombrie 1975).

Multe discuții a iscat rotația planetei Venus. S-au acceptat pe rînd următoarele valori: circa 24 ore (Bianchini, 1726); 24 ore (de Vico, 1839); 225 zile (Schiaparelli, 1890). Această din urmă valoare a fost destul de general adoptată și a rezistat pînă în 1955. În acel an, C. Boyer a studiat planeta Venus în ultraviolet și a postulat o rotație retrogradă de 4 zile. Începînd din 1962, problema a fost reluată cu ajutorul radarului, utilizîndu-se și efectul Doppler-Fizeau, ceea

ce a dus la calculul unei rotații retrograde de 243 zile (ziua ar fi deci mai lungă decât anul), valoare ce a fost adoptată și de Uniunea Astronomică Internațională, deși nu poate fi considerată încă absolut certă. S-ar putea ca perioada de 4 zile, detectată de Boyer, să corespundă unei rotații a atmosferei înalte. Pe de altă parte, investigațiile sondelor spațiale au arătat că Venus nu are practic câmp magnetic și nici centuri de radiații sau în orice caz acestea sînt extrem de slabe. Asupra constituției atmosferei planetei Venus, dispunem de rezultatele analizelor spectroscopice terestre, precum și de analizele sondelor spațiale americane și sovietice. După cum rezultă din acestea, compoziția pare a fi următoarea:

bioxid de carbon	93—97%
azot	2—5%
apă	0,6%
oxid de carbon	sub 0,1%
oxigen	sub 1%
vapori de iod, brom, sulf	sub 0,1%

În orice caz, atmosfera venusiană e mai extinsă decât cea terestră și — după aprecieri recente — de cca. 30 ori mai densă (s-au detectat patru straturi atmosferice, cel inferior foarte limpede). Circulația atmosferică este extrem de puternică, bîntuie vînturi intense. Așa cum clima Pămîntului se bazează pe un ciclu al apei, s-ar putea ca cea venusiană să se bazeze pe un ciclu al sulfului. Constituția norilor, alcătuiind un adevărat „blindaj optic”, nu este încă pe deplin clarificată. Pe lingă cristale de gheață (care indică nori de tipul terestru cirrus), s-au detectat acid sulfuric, acid clorhidric și acid fluorhidric — așa încît ne putem aștepta ca pe Venus să se producă și ploi acide. Foarte important este faptul că atmosfera prezintă fulgere foarte frecvente, de asemenea contracții și dilatări regulate, cu o perioadă de circa 4 zile. O formațiune de mare interes e și „coroana de hidrogen” care înconjoară planeta, deocamdată inexplicată.

Dacă sonda americană Mariner 5 s-a apropiat pînă la numai 3 970 km de planetă, transmitînd informații importante, sonda sovietică Venus 3 (1966) a fost cea dintîi a cărei capsulă a coborît pe planetă. În ce privește sondele Venus 7 (1971), și Venus 8 (1972), acestea au coborît lin și s-au așezat pe suprafața planetei, transmitînd un timp dată după „avenusizare“. În sfîrșit, Venus 9 și 10 au transmis (1975) primele fotografii ale solului, iar în decembrie 1978, capsula de coborîre a lui Venus 12 a transmis timp de 110 minute observații.

Temperatura de la suprafața planetei, presupusă pînă în 1962 la 60—90° C, este astăzi apreciată la 450—500°C, în timp ce presiunea atmosferică atinge în jurul a 100 atmosfere; aceasta corespunde atît măsurărilor sondelor spațiale, cit și ultimelor determinări efectuate radioastronomic și prin radar de pe Terra. În zonele ecuatoriale ale planetei există decalaje de altitudine între „văi“ și „înlățimi“, cu diferențe de temperatură de cca. 40°C între ele. Se consideră probabil și diferențe mici de temperatură între partea nocturnă și cea diurnă a planetei (cca. 12° C), între ecuator și poli (cca. 18°C). Fotografiile obținute de Venus 9 și Venus 10 au dezvăluit un sol presărat cu roci, un relief accidentat, cu aspect de pustiu stîncos. S-au mai descoperit munți, șesuri, o depresiune de 120 km lungime și cu o adîncime de 800 m.

Valorile înalte ale presiunii și temperaturii dau mult de gîndit. Pe Pămînt, trebuie să cobori pînă la 1 000 m sub oglinda apei, pentru a găsi presiuni de cca. 100 atmosfere. Compoziția și densitatea învelișului gazos venusian oferă explicația. În ce privește temperatura foarte ridicată, pentru a o înțelege trebuie să recurgem la un „efect de seră“, mult mai intens decît cel existent pe Pămînt. (Cînd radiația solară traversează pereții de sticlă ai serei, ea încălzește plantele și solul din interior; acesta din urmă reiradiază o parte a energiei, dar pe o lungime de undă mai mare, în special în infra-roșu, care nu poate să străbată prin sticlă, ceea ce sporește temperatura serei. Se presupune că pătura deasă de nori ce

înconjoară planeta Venus joacă același rol ca și pereții de sticlă ai serei, reținând cea mai mare parte din energia solară ajunsă pe planetă și ridicând astfel considerabil temperatura.)

În această situație, viața pare imposibilă, cel puțin în condițiile pe care le cunoaștem noi. Dar să nu ne pripim, mai ales că datele cunoscute nu sînt absolut certe, iar astronautica mai pregătește încă neîndoielnic răsturnări neașteptate.

O serie de ipoteze de acum cîteva decenii, despre un uriaș „ocean planetar“ (D. Menzel, F. Whipple, N. Barabașev) au fost astăzi abandonate. În schimb, este probabil că suprafața planetei este sediul unei *intense activități vulcanice*. După S.K. Vsehsviatski, străvechile legende despre observarea unei „bărbi“ a planetei, care ar fi „fumegat“ cîva timp, trebuie interpretate în sensul că pe Venus s-ar fi produs, înaintea erei noastre, o uriașă erupție vulcanică. Acum, argumentele furnizate de stațiile interplanetare par să confirme aceste considerente, Venus fiind considerată o *planetă tinărdă*, cu vulcanism intens.

S-a încercat întocmirea de hărți ale planetei Venus cu ajutorul undelor radio, care traversează atmosfera și norii venusieni, reflectîndu-se de solul planetei și întorcîndu-se înapoi pe Terra. Astfel de observații s-au făcut, de pildă, pe lungimile de undă de 12,5 și 70 cm, obținîndu-se radiofotografii destul de precise, dar interpretarea lor mai este încă discutată. Se pare că ele traduc *natura* solului și nu a *reliefului* venusian.

În cîteva rînduri, cercetători din mai multe țări au declarat că printre nori s-au deschis, pentru scurt timp, „ferestre“, prin care au putut observa detalii ale suprafeței. Dar aceste aserțiuni sînt contestate de alți specialiști. Cît despre fotografiile în ultraviolet efectuate cu ajutorul marilor telescoape, ele au dus atît la descoperirea unor dungi paralele, cît și a unor pete întunecate și luminoase. Se pare că nu e însă vorba de formații ale suprafeței planetare, ci de diferite tipuri de nori.

„Venus — scria nu de mult J. Kovalevsky, un membru marcant al Societății Astronomice a Franței — se mai ascunde cu pudoare ochilor noștri.“ În plin asalt al astronomiei și astronauticii, planeta-enigmă nu va reuși însă mult timp să păstreze această necontestată „discreție“.

3. Marte

Marte, cea de-a patra planetă în ordinea depărtării de Soare, este poate planeta cea mai populară printre pămînteni, aceea de care s-au legat cele mai multe speranțe în ce privește un posibil contact cu făpturi extraterestre sau cel puțin cunoașterea unor forme de viață extraterestre. Așa cum rezultă din tabelul planetar general la care ne-am mai referit, Marte are cam jumătate din diametrul Terrei, o forță de atracție reprezentînd cam o treime din cea a Pămîntului, o densitate ceva mai mică, după ultimile date o turtire accentuată: $1/125$. Numele său, provenind de la denumirea latină a zeului antic al războiului, se explică prin culoarea roșcată a astrului, a cărei cauză o vom găsi în natura unei mari părți a solului marțian. Dealtfel și egiptenii o numeau Horus cel roșu (Hordeker).

Pentru astronomul amator, cu o lunetă de putere modestă, este un astru cu suprafața greu dar nu imposibil de observat, diametrul aparent nedepășind $25''$. În schimb, marilor instrumente astronomice, Marte le dezvăluie numeroase detalii, ale căror contururi nu se schimbă (uneori însă, săptămîni și chiar luni de zile, sînt mascate de furtuni de praf). Atmosfera planetei fiind rarefiată, și neavînd caracterul unui „blindaș optic“ ca atmosfera venusiană, ceea ce se observă astfel este în mod cert suprafața planetei. Iată de ce, încă de mai multe decenii, au putut fi întocmite hărți ale planetei, pe care apar „mări“, „lacuri“, „golfuri“ (fără apă, ca și cele lunare), văi, continente, munți, platouri etc., cum sînt cunoscutele hărți ale lui Gérard de Vaucouleurs, J.H. Focas,

A. Dollfus etc., ajungindu-se la o terminologie bine precizată a formaţiunilor, însușită și de Uniunea Astronomică Internațională. Hărți mult mai precise s-au întocmit ulterior pe bază astronomică.

S-a stabilit fără greutate și durata rotației în jurul propriei axe, care este de 24 ore, 37 minute și 23 secunde. Axa de rotație făcând un unghi destul de pronunțat cu perpendiculara pe orbită, Marte prezintă, ca și Terra, fenomenul anotimpurilor. Durata acestora este mai lungă ca cea a anotimpurilor terestre (ca și anul marțian față de anul terestru):

— primăvara	199 zile
— vara	182 zile
— toamna	146 zile
— iarna	182 zile

Diferențele mari dintre duratele anotimpurilor se datoresc excentricității orbitei, de șase ori mai accentuată decât a Terrei (pe planeta noastră, vara este anotimpul cel mai lung).

Primind cam jumătate din căldura solară recepționată de Pământ pe unitatea de suprafață, Marte este o planetă mult mai rece decât Terra. Zonele principale care se observă telescopice pe Marte sînt următoarele:

1. Regiunile deschise la culoare, cu o nuanță în general portocalie. Sînt așa-zisele „continente” marțiene, reprezentînd cam $\frac{2}{3}$ din suprafața planetei; ele dau colorația generală astrului. Este vorba de zone acoperite cu mult praf, bogate în oxizi de fier.

2. Regiunile închise la culoare. Sînt mările și celelalte formațiuni cu denumiri sugerînd întinderi de apă, care reprezintă restul de $\frac{1}{3}$ al suprafeței marțiene. Au o nuanță cafenie, ușor verzui-albăstruie, fiind întrucîtva asemănătoare ca structură cu „mările” lunare.

3. Încă cu secole în urmă, au fost observate „calotele polare”, care se topesc sau se extind în conformitate cu anotimpurile. Se credea inițial că sînt alcătuite în totalitate din

gheață și zăpadă obișnuită, dar astăzi se consideră ca probabilă constituirea lor din zăpadă carbonică, într-un strat subțire, de sub doi metri grosime, care nu se compară cu ghețurile Antarcticii sau Groenlandei (zăpada carbonică se obține pe Pământ răcindu-se bioxidul de carbon sub -79°C , fiind oarecum similară zăpezii obișnuite; se utilizează la obținerea ploii artificiale, ca material de stingere a incendiilor etc.). La zăpada carbonică, se adaugă și o oarecare cantitate de apă înghețată, asemănătoare brumei.

4. Printr-o lunetă de putere mijlocie, se zăresc benzi prelungi și înguste („canalele“), a căror rețea complicată a fost schițată încă de Giovanni Schiaparelli; primate printr-un instrument cu o mare putere separatoare, ele apar ca fiind formate dintr-o multitudine de mici detalii, care au dat iluzia continuității lor. Natura canalelor nu a fost încă deplin lămurită. Unii specialiști le contestă cu desăvârșire.

În orice caz, pe Marte nu există mari întinderi de apă. Fotografii excelente în culori au fost obținute telescopic în 1954 și 1956 de W.C. Finsen, fiind reproduse în lucrarea *Planets and Satellites*, confirmând colorația observată anterior a diferitelor zone. Uneori se remarcă și schimbări, de pildă apariția unei pete întunecate de peste 600 mii km^2 în 1954.

Înainte de obținerea primelor fotografii de către sondele spațiale, zonele întunecate ale planetei, „mările“, erau în mare parte interpretate ca zone de vegetație marțiană, mai ales că sufereau variații sezoniere de colorație. Astăzi se știe însă că și ele sînt, în general, pustii.

De fapt, de la începutul secolului cunoștințele noastre despre planeta Marte progresau destul de lent. În sfîrșit, sonda spațială Mariner 4, lansată în noiembrie 1964, a trecut la 15 iulie 1965 la 10 000 kilometri de planetă, obținînd și transmițînd spre Pămînt douăzeci și două de fotografii, de o importanță istorică în astronomie. Ele nu au dezmințit vechile hărți (denumirile formațiilor lor se mai folosesc), cuprinzînd în esență pete luminoase și întunecate de diferite

nuanțe, dar au scos în evidență detalii cu mult mai precise ale reliefului marțian, „lovitura de teatru“ constituind-o descoperirea circurilor pe Marte (circuri avînd „bariera“ erodată, datorită atmosferei). Se știe astăzi că pe orice corp ceresc din sistemul nostru planetar fără atmosferă sau cu atmosferă rară există circuri. Și totuși, ca să fim drepecți, trebuie să recunoaștem că descoperirea circurilor marțiene fusese presupusă chiar mai de mult de un cercetător. În numărul său din septembrie 1950, cunoscuta revistă *Sky and Telescope* arăta că, după părerea lui E.J. Öpik, la suprafața planetei Marte există sute de mii de circuri, unele de dimensiuni considerabile, datorate coliziunii unor asteroizi și meteoriți cu planeta. După calculele sale, un asteroid cu diametrul de $1/10$ km se ciocnește în medie o dată la 100 de ani de planetă. Întrucît eroziunea craterelor astfel formate pe Marte este însă cu mult mai redusă decît pe Pămînt, datorită rarefierii atmosferei și cantităților reduse de apă, Öpik considera că un crater poate să se conserve pînă la 10 milioane de ani. Cu prilejul marilor coliziuni, s-ar produce uriași nori de praf, cum a fost cel din 16 ianuarie 1950, descoperit de savanți japonezi. Cu toată această previziune a lui Öpik, puțini specialiști credeau în existența circurilor marțiene înaintea explorării fotoastro-nautice. Și E.E. Barnard observase, încă în 1892, circuri, dar nu se încumetase să-și publice constatările, socotindu-le prea temerare.

Aparatele americane Mariner 6 și 7 (1969) și mai ales 9 (1971—1972) au continuat studiul solului, ca și al atmosferei marțiene, miile de fotografii transmise prezentînd aspectul unor peisaje lunare. În sfîrșit, în decembrie 1971, o treaptă a sondei spațiale sovietice Marte 2 a aterizat lin pe planetă, după străbaterea atmosferei marțiene, dar, din păcate, așa cum s-a comunicat, „durata transmiterii semnalelor a fost scurtă și apoi acestea s-au întrerupt brusc“.

Miile de fotografii ale planetei Marte primite de la Mariner 9, apoi de la stația sovietică Marte 5, au relevat marea

varietate a reliefului suprafeței marțiene. Pe lângă regiuni foarte frământate, „haotice“, cu munți și văi de forme incalcitate și greu explicabile, sint și zone neaccidentate, aproape „lipsite de relief“, chiar și de circuri; cum impacturile meteoritilor s-au produs pretutindeni, trebuie să presupunem că au intervenit acolo fenomene care au „distrus“ relieful. Munții — considerați anterior mărunți — îi depășesc atît pe cei lunari, cît și pe cei tereștri (unele piscuri sint de două ori mai înalte decît Everestul). Cercetări recente au relevat și existența unor platouri înalte. În jurul circurilor nu s-au descoperit „raze“, ca cele de pe Lună. O serie de circuri depășesc ca diametru pe cele lunare (peste 250 km). Unele dintre acestea sint considerate de origine vulcanică, nu meteoritică (de pildă un circ cu diametrul de 64 km din zona Nix Olimpica). Cîteodată, în jurul circurilor se văd un fel de arcuri concentrice, de culoare deschisă. Terenul marțian prezintă adeseori ridicături alcătuite din praful acumulat de vînt. Au fost de asemenea fotografiate întinse cîmpuri de dune, similare celor din pustiiurile terestre, mari lanțuri de munți, văi drepte și șerpuitoare, a căror formă prezintă o mare diversitate (unele par albie secate), canioane foarte profunde etc., cu aspecte nicăieri întîlnite. Despre imensul canion din Tithonius lacus (lungimea 500 km, lățimea 120 km), o formație pare-se unică pe Marte, unii specialiști presupun că numai apa a putut să o modeleze astfel. Dealtfel, în mai multe locuri se văd urmele unor scurgeri de fluide. Alte formațiuni par modelate de vînturile marțiene și de praful.

Există și regiuni a căror imagine fotografică pare să trădeze o activitate vulcanică recentă, cum este structura botezată „Pielea de elefant“ din Phoenicis lacus (puținătatea circurilor arată că e vorba de un relief de curînd format). Aici suprafața, modelată într-un mod specific, e străbătută de numeroase „benzi“, „unde“ și „vine“, care dau ansamblului un aspect scorbos și a sugerat denumirea amintită. După cum arată Martin Caidin într-o lucrare publicată în 1972, cu toate

similitudinile descoperite cu formațiuni de pe alte corpuri cerești, „Marte este neîndoielnic o lume cu totul aparte, prezentând trăsături unice, multe neîntîlnite pe Lună sau pe Pămînt“. Pe baza tuturor detaliilor fotografiate, s-au putut întocmi și definitivă, în 1972 și 1973, hărți foarte exacte și un atlas al planetei Marte, ceea ce reprezintă unul din cele mai mari succese ale astronomiei secolului al XX-lea.

Amartizarea stațiilor americane Viking 1 și 2 (1976) analizele efectuate, fotografiile și datele transmise pe Terra prin intermediul modulelor orbitale, au reprezentat un eveniment major pentru istoria astronauticii și astronomiei. Peisajul marțian din punctele de amartizare a apărut desertsic, o cîmpie relativ plată, cu roci de origine probabil vulcanică, poroase și spongioase. Analiza chimică a evidențiat prezența a 34 elemente, dintre care siliciul (15—30%) și fierul (14%) în proporțiile cele mai mari. Calciul, titanul și aluminiul există și ele în cantități apreciabile. Experimentul biologic, care urmărea detectarea de forme de viață pe Marte, nu a dus la rezultate concludente, deși unele degajări de oxigen și bioxid de carbon păreau să indice procese „foarte active“, a căror semnificație nu e încă clară. Nu trebuie însă pierdut din vedere că cele două stații au studiat o arie foarte restrînsă.

În ce privește temperatura marțiană, navele cosmice au determinat $+15^{\circ}$ pînă la $+20^{\circ}\text{C}$ ziua în zona ecuatorială, iar noaptea -40°C pînă la -70°C . În zonele polare, temperaturile măsurate au variat între -11°C și -120°C .

Cînd nava spațială americană Mariner 9 a început să se rotească în jurul lui Marte, o imensă furtună de praf, acoperind o mare parte din suprafața planetei, a împiedicat-o multă vreme să transmită fotografii clare. Într-adevăr, în atmosfera lui Marte bîntuie vînturi puternice, care deplasează atît mase imense de pulbere, cit și formațiunile de nori neprăfoase; acestea produc, între altele, intense fenomene de eroziune a solului. Bruce C. Murray, unul dintre specialiștii

misiunii Mariner 9, declara în 1972: „Niciodată n-aş fi crezut înainte că procesele petrecute în atmosfera foarte rară a planetei Marte ar putea să aibă ca efect modificări atât de rapide, cu aspect de eroziune“.

Există trei categorii de nori:

— Norii albi sau violeti sînt foarte frecvenţi şi se deplasează lent, purtaţi de vînturi slabe, care bat cu cca. 40 km/h. Uneori sînt foarte strălucitori, alteori difuşi şi abia vizibili (ca cirruşii terestre). Par alcătuiţi din cristale de gheaţă sau bioxid de carbon, existînd însă şi alte, presupuneri despre natura lor;

— Mai puţin frecvenţi, dar mai vasti sînt norii galbeni. Probabil că sînt formaţi din pulberi ridicate de vînt din zonele deschise la culoare. Uneori acoperă regiuni întregi;

— În ce priveşte norii albaştrii, aceştia sînt, pare-se, situaţi în atmosfera înaltă.

În ansamblu, norii marţieni sînt mai rari decît cei terestri şi incomparabil mai puţin denşi decît cei venusieni.

Presiunea atmosferică, chiar mai scăzută decît se aprecia iniţial, este evaluată a fi de 6—8 milibari la suprafaţă, cam cît măsoară pe Terra la circa 30 km înălţime. Componenta principală a atmosferei este bioxidul de carbon (CO_2), constituind cam 90% din ea. S-au mai detectat vapori de apă şi azot în mici cantităţi, de asemenea oxigen şi argon. Ecranul protector al ozonului, atât de preţios pe Pămînt, pare să lipsească pe Marte. Desigur că viitoarele cercetări astronautice vor mai aduce multe precizări în această privinţă (după cum cele de pînă acum au răsturnat multe presupuneri anterioare, ca de pildă aceea că atmosfera ar conţine 90% azot). Trebuie precizat şi faptul că Marte are un cîmp magnetic slab, probabil datorită lipsei unui nucleu lichid incandescent.

În sfîrşit, să mai menţionăm că în mod curent se consideră că Marte este o planetă mai „bătrînă“ decît Pămîntul (ipoteză îmbrăţişată şi de G.P. Kuiper).

4. Jupiter

Ajunși astfel la a cincea planetă a sistemului nostru solar, să amintim din nou că Jupiter este „gigantul” lumii noastre planetare. Diametrul său este de 11 ori mai mare decât al Pământului, iar suprafața sa de 122 ori mai întinsă. Volumul său depășește pe acela al tuturor planetelor luate la un loc, deși față de Soare mărimea sa este modestă. Exerciță o puternică influență gravitațională asupra planetelor, asteroizilor, cometelor, curenților meteorici. Într-un anumit sens, Jupiter poate fi considerat un corp ceresc „intermediar” între Soare și planete (ca dimensiune, masă și sursă radiantă). Dacă luăm parametrii săi drept unitate, obținem pentru Pământ și Soare următoarele mărimi relative:

	Jupiter	Pământul	Soarele
Diametrul	1.	1/11,2	9,75
Masa	1	1/318,37	1047

Este prima (în ordinea depărtării de Soare) dintre planetele gigante și efectuează o revoluție în jurul Soarelui în aproape 12 ani tereștri. În 1979, sonda spațială americană Voyager 1 a descoperit că Jupiter are și un inel, alcătuit din particule relativ mari, rotindu-se în jurul planetei în circa 7 ore, la o distanță de 55 000 km de suprafața norilor.

De remarcat că ceea ce observăm telescopic sau se fotografiază de către sondele spațiale este atmosfera joviană, care se rotește în jurul axei polilor cu o viteză foarte mare (o rotație durează mai puțin de zece ore). E cea mai scurtă „zi” cunoscută la planetele noastre. Ca și în cazul Soarelui, zonele polare se rotesc ceva mai lent decât cele ecuatoriale, ceea ce a observat încă G.D. Cassini. Creșterea duratei de rotație dinspre ecuator spre poli se face în salturi și nu uniform: rotația regiunii ecuatoriale 9 ore 50 m 18 s; rotația

regiunilor polare — 9 ore 55 m 40 s. Rotirea rapidă are ca efect o turtire accentuată (diametrul polar este cu aproape 9 000 km mai mic decît cel ecuatorial).

Masa gazoasă a atmosferei cunoaște o circulație intensă și schimbări destul de frecvente, existînd formații atmosferice de scurtă durată și altele mai stabile. Iată de ce „hărțile“ atmosferei joviene diferă de la un an la altul, substratul schimbărilor ce se desfășoară fiind deocamdată puțin cunoscut și mai mult presupus. Spectroscopic s-a stabilit însă că în atmosfera joviană există mult metan și amoniac-gazos, dar și cristale alcătuite din aceste gaze (temperatura păturii exterioare fiind apreciată la $-120^{\circ} - 150^{\circ} \text{ C}$). S-au detectat de asemenea hidrogen (H_2) și tetraoxid de azot N_2O_4 .

Imaginea telescopică a lui Jupiter relevă benzi paralele cu ecuatorul, a căror formare se explică probabil prin rotația rapidă a planetei și curenții ce se formează în atmosferă. Se poate presupune că benzile sînt nori imenși, orientați ca niște fișii orizontale, unii mai luminoși, cum e banda „ecuatorială“, alții mai întunecați, ca cele două benzi „tropicale“. Uneori, aici se produc schimbări rapide. Nuanțele predominante sînt cafeniul și roșcatul, observate și de sondele Voyager 1 și 2 în 1979, dar mai intervin și zone verzi, albastre, măslinii. Formațiuni filamentoase elicoidale par să unească benzile între ele.

În oceanul atmosferei joviene, se mai află și numeroase pete, neregulate ca formă. Unele dintre ele pot fi urmărite doar citeva zile, după care se fragmentează, pentru ca să dispară sau „resturile“ să se unească cu alte pete. Altele însă, mai ales dintre cele de nuanță deschisă, au o stabilitate mai mare, de ani de zile sau chiar mai mult. Un fenomen ciudat și încă neexplicat al atmosferei joviene este celebra „pată roșie“, descoperită încă din 1664, cu nuanțe și o extensiune schimbătoare. Ovală, actualmente cu dimensiuni de 40 000 km $\times$ 13 000 km, aceasta este considerabil mai mare decît Pămîntul. Are o deplasare de ansamblu proprie, lentă și cu multe neregularități, adesea diferită de a norilor înconjură-

tori; telescopic observată, apare ca o insulă plutind într-un ocean. Uneori, strania pată roșie se întâlnește cu o altă formație, așa-zisa „perturbație australă“, care a fost descoperită la începutul veacului nostru. La aceste întâlniri, cu atât mai frecvente cu cât „perturbația australă“ are o viteză mult mai mare decât pata roșie, se produc fenomene ciudate: căutînd să o depășească, perturbația „îmbrîncește“ parcă cealaltă formațiune, iar alteleori o „ocolește“ pur și simplu. „Pata roșie“ se comportă, față de alte formațiuni, ca o masă solidă, de o mare stabilitate, spre deosebire de „perturbația australă“, mai diafană și totuși cu o „forță de șoc“ considerabilă. Ipoteze mai vechi considerau pata roșie ca un fel de „Eisberg“, o masă de amoniac înghețat, care plutește în atmosfera lui Jupiter (mai adînc sau mai la suprafață, fiind de aceea cînd mai vag, cînd mai precis conturată). Presupunerea că pata roșie ar fi un „nor solid“, plutitor, s-a lovit însă de contradicții fizice și s-a încercat de aceea să fie concepută ca efectul unor vîrtejuri ciclonice. Este tocmai ceea ce a dovedit sonda spațială Voyager 1 la începutul anului 1979, fotografiile obținute prezentînd pata roșie ca un gigantic uragan, constituit din cinci vîrtejuri care se rotesc în sens invers acelor de ceasornic cu o viteză de 400 km/h. S-ar putea să fie efectul unei anomalii topografice a nucleului.

De menționat și ipoteza după care, datorită presiunii atmosferice imense, gazele atmosferei joviene ar fi într-o stare apropiată cu aceea a lichidelor, ca și presupunerea că formațiile atmosferice ar fi în mare parte generate de expulzarea de substanță de la suprafața planetei, datorită unui vulcanism intens. Dar toate acestea sînt deocamdată doar supoziții, cu un grad redus de probabilitate.

Pe de altă parte, Jupiter este o puternică sursă de unde radio. Acestea sînt de două categorii. Există emisiuni regulate (pe lungimea de undă de 10 cm), care sînt atribuite centurilor de radiații ce-l înconjoară pe Jupiter. Alte emisiuni, cu caracter discontinuu și scurt, par a proveni dintr-o zonă precis determinată a suprafeței, din zona unei „pete albe“.

Durata de rotație determinată pe baza acestei radiosurse puternice este de 9 ore 55 m 30 s. Jupiter mai are un intens cîmp magnetic, o magnetosferă cu o dinamică puternică. Observații în infraroșu au arătat că Jupiter radiază în spațiul cosmic de două ori mai multă energie decît primește de la Soare: aceasta înseamnă că e verosimil să presupunem o sursă de energie internă, poate în regiunea nucleului planetar. Rolul acesteia în circulația intensă a atmosferei și în formarea norilor de mari altitudini, compuși din cristale de metan, amoniac și hidrogen, e foarte important. *Sonda Voyager 2* a detectat și o puternică centură de radiații calorice în jurul planetei, încă neexplicată.

Ce se află dedesubtul densei și opacei atmosfere joviene? În orice caz, densitatea foarte mică a planetei (0,24 față de Pămînt = 1), apropiată de cea solară, ne face să ne gîndim la predominanța unor elemente ușoare, ca *hidrogenul* și *heliul*. Pe de altă parte, dacă întreg corpul planetei ar fi fluid, ar fi verosimilă o turtire și mai accentuată decît cea existentă. Ideea unei suprafețe planetare solide, asemenea celei a Pămîntului sau a lui Marte, nu trebuie exclusă și mai are partizani, deși a fost supusă unor critici repetate de către astronomia modernă.

Au fost propuse mai multe modele pentru globul jovian. Iată unul dintre ele. Considerîndu-se că Jupiter este alcătuit în cea mai mare parte din hidrogen, se apreciază că densitatea acestuia sporește repede spre centru, din cauza presiunii în continuă creștere. Comportarea hidrogenului, în condițiile creșterii presiunii, este mai întîi lichefierea, apoi solidificarea. La o presiune de 1 000 000 atmosfere, densitatea face un salt brusc, de la 0,35 la 0,77, ceea ce dă acestui element proprietățile unui metal bun conducător de electricitate și de căldură. Nucleul jovian ar fi deci din „hidrogen metallic”. A mai fost elaborată ipoteza că sub atmosfera joviană ar exista un strat foarte gros de gheață (39% din raza planetei), dedesubtul căruia s-ar afla nucleul solid, din roci. R. Wildt a presupus un alt model: nucleu solid dens ($5,5 \text{ g/cm}^3$), un strat

de gheață (1 g/cm^3), un strat de hidrogen și heliu solidificate ($0,35 \text{ g/cm}^3$), deasupra căruia s-ar afla atmosfera cunoscută. După o ipoteză elaborată de V.G. Fesenkov și A.G. Mas-sevici, Jupiter ar fi alcătuit în proporție de 80% din hidrogen, iar nucleul planetei, relativ mic, ar fi solid și în mare parte înghețat. Deasupra lui s-ar afla un strat de hidrogen lichid de vreo 40 000 km grosime, iar peste acesta un strat de hidrogen gazos de cca. 10 000 km grosime. Cel mai exterior ar fi stratul alcătuit în special din metan și amoniac. B. Miles și W.H. Ramsay consideră și ei că Jupiter — ca și Saturn — ar fi alcătuit în proporție de 76—84% din hidrogen. Nucleul, format din elemente grele, n-ar depăși circa 10 mase terestre, dar Ramsay apreciază că acesta ar avea o temperatură de circa $10\,000^\circ \text{C}$ (alți specialiști consideră că temperatura nucleului e și mai mare).

În 1973 și 1974, primele stații spațiale (Pioneer 10 și 11) au survolat planeta Jupiter, transmitând fotografii de mare importanță, a căror precizie a fost depășită în 1979 de sondele Voyager 1 și 2. Datorită lor, structura atmosferei și magnetosferei joviene este astăzi mult mai bine cunoscută.

În sfârșit, o ultimă problemă în legătură cu Jupiter este aceea a posibilității formelor de viață învelișul său gazos sau în eventualele „mări” de la suprafață. După G.A. Tihov, metanul și amoniacul din atmosfera superioară joviană rezultă din descompunerea unor microorganisme care trăiesc în stratele joase, evident mai calde. Un cunoscut specialist american în problemele vieții în Gosmos, Carl Sagan, presupune că în atmosfera joviană au putut lua naștere substanțe organice necesare vieții, în urma descărcărilor electrice foarte intense care au loc, sau sub acțiunea radiației ultraviolete a Soarelui (fulgere foarte puternice au fost detectate de Voyager 1 în 1979). Diferiții curenți pot coborî compușii organici spre regiuni unde există factori favorizanți pentru generarea compuşilor macromoleculari, care s-ar putea eventual dizolva în posibilele mări de apă sau amoniac. Și în atmosfera densă, presupune, cu destulă fantezie, Sagan, ar putea să înoate

creaturi mari, asemănătoare unor „saci umpluți cu gaze“, care să înghită substanțele organice, ca niște balene consumatoare de plancton. E drept, alți specialiști, ca de pildă Șaronov, Oparin, Fesenkov, consideră imposibilă existența vieții de tip terestru (viața compușilor carbonului) pe toate planetele gigante, de la Jupiter și până la Neptun.

5. Saturn

La o distanță de aproape zece ori mai mare de Soare decît Pămîntul, se află Saturn, o planetă care întrece de circa 770 ori volumul Pămîntului, a doua ca mărime din tot sistemul planetar. Culoarea ei este gălbuie, la poli fiind însă verzui-albăstruie. Cu ochiul liber are adesea un aspect plumburiu, verzui, sugerînd o nuanță cadaverică, ce a făcut ca în antichitate să se dea planetei numele zeului morții. Axa polilor este puternic înclinată față de planul orbitei.

Mai îndepărtat de Pămînt decît Jupiter, Saturn este mai greu observabil de pe Terra. Neîndoielnic, între cele două planete asemănările sînt numeroase. Amîndouă sînt planete foarte mari și în același timp cu o densitate foarte mică, a lui Saturn fiind chiar mai redusă decît densitatea apei (așa încît într-un „lighéan cosmic“, Saturn ar pluti ca un dop de plută). La amîndouă, ceea ce zărim nu este globul solid (dacă un astfel de glob există), ci straturile exterioare ale atmosferei, care prezintă benzi paralele cu ecuatorul, mai greu de analizat în detaliile lor decît în cazul lui Jupiter; în schimb, se deosebesc mai puține pete. Ipoteze similare cu cele privitoare la structura lui Jupiter sînt formulate și în ce îl privește pe Saturn. În legătură cu rotirea propriei axe, aceasta se produce cu o mare viteză, în 10 ore și 14 minute la ecuator și în 10 ore și 39 minute în regiunile polare. Ca și Jupiter, planeta Saturn prezintă o turtire accentuată, cea mai accentuată din tot sistemul solar; față de un diametru ecuatorial de 120 960 km, diametrul polar este de numai 108 000 km.

De asemenea, Saturn are și el un cortegiu de sateliți (11), precum și magnetosferă, centuri de radiații. Ținând seama de densitatea sa redusă, și pentru Saturn pare probabil că principalele sale componente sînt hidrogenul și heliul. Atmosferă cuprinde mult metan, dar mai puțin amoniac decît Jupiter. Avînd în vedere temperatura mai scăzută (cca. -170°C), este probabil că o parte a gazelor, mai ales amoniacul, e înghețată.

Uneori se observă apariția, în atmosfera planetară, a unor mari pete albe-gălbui, care apar și dispar repede, în cîteva zile sau săptămîni. Se presupune că este vorba de curenți ascendenți sau chiar de erupții vulcanice. Alteori se observă și pete întunecate, dar, în general, agitația este mai redusă în atmosfera saturniană.

Pioneer 11, sonda spațială care, în august-septembrie 1979, s-apropiat cea dintîi de planetă, a observat, între altele: colorația pronunțat albastră a polului nord (probabil acoperit de ghețuri), strălucirea, încă neexplicată, a regiunilor ecuatoriale, zona de „umbră” produsă de inele; în sfîrșit un nor, de natură necunoscută, la 226 000 km de suprafața planetei. Atmosfera nu pare a avea turbulențe, fiind în schimb parcursă de curenți-jet.

Observînd în 1610 corpul ceresc, Galileo Galilei a avut impresia că globul principal este însoțit de doi aștri mai mici, imobili, de o parte și de alta a sa. Această constatare nu era însă pe atunci de natură să fie larg difuzată: încă o dată, „perfecțiunea” corpurilor cerești, postulată de școlastică, părea infirmată, așa cum se întîmplase cu fazele lui Venus, petele din Soare etc. Pentru a-și consemna însă descoperirea, Galilei a notat, într-o lucrare a sa, următoarea înșiruire de litere: SMAISMR MILME POETALEV MIBUNE NUGTT AVIRAS. Kepler n-a reușit să descrie enigma. La cererea împăratului Rudolf II, Galilei a consimțit să dea soluția anagramei: „Altissimum planetam tergeminum observavi”, cu alte cuvinte: „Am observat că planeta cea mai înaltă este un tricorp”. Dispunînd de un instrument slab, învățatul nu pătuse deosebi inelul lui Saturn

de planetă și i s-a părut că vede trei aștri îngemănați. Dar, după doi ani, în 1612, cei doi „aștri laterali“, după ce au pălit treptat, au dispărut cu totul. „Saturn și-a devorat copiii!“ a exclamat învățatul din Pisa, decepționat. Ulterior, alți astronomi l-au observat însă din nou pe Saturn ca tricorp (Hevelius, Riccioli — în 1650). În sfârșit, în 1656—1657, Christiaan Huygens a construit un instrument destul de puternic ca să poată contempla fenomenul în toată măreția lui: planeta cea mai îndepărtată cunoscută în acea vreme apărea „înconjurată de un inel diafan, care nu atinge nicăieri planeta și este înclinat față de ecliptică“ (1659). Saturn, magnificul, își făcea intrarea în astronomie. Dar de ce își „devora“ periodic Saturn „copiii“, de ce dispărea uneori inelul? Explicația este simplă: datorită grosimii sale foarte mici (15—20 km), atunci când inelul este îndreptat cu muchia spre Pământ, devine pur și simplu invizibil.

S-a crezut mult timp că inelul este un corp continuu. Maxwell a demonstrat în 1857 că acest lucru este imposibil, că dacă așa ar fi, el s-ar rupe curînd, sub efectul enormelor tensiuni produse. În sfârșit, studiul spectroscopic a confirmat în 1895 punctul de vedere al lui Maxwell, căci s-a adevărit că diferitele porțiuni ale formației se rotesc cu viteze diferite: partea internă mai repede decît cea externă.

Astăzi se știe că nu există *un inel*, ci *mai multe inele* și că fiecare este alcătuit din nenumărate particule, corpuri me-teorice și gaze înghețate care îl înconjoară pe Saturn, supunîndu-se legilor lui Kepler, un fel de „microsateliți“. Dimensiunile acestor particule mai sînt încă supuse contro-versei. Primul contact radar cu planeta a putut fi realizat în decembrie 1972 — ianuarie 1973 de către specialiști ai stațiunii Goldstone din California. Inelele au „răspuns“ cu semnale mult mai intense decît fusese așteptat, aceste ecouri puternice fiind interpretate în sensul că nu provin de la mici cristale, pulberi sau gaze, ci de la fragmente cu mult mai mari, avînd uneori diametre de un metru și chiar mai mult (Richard M. Goldstein și George A. Morris jr.). Deter-

minărilor radiometrice din 1977 indică însă particule în medie de 5—10 cm (Morrison).

Sistemul de inele se află aproape exact în planul ecuatorial al planetei, avînd un diametru total de cca. 275 000 km, cam $\frac{2}{3}$ din distanța Pămînt-Lună. Se cunosc actualmente patru inele, care din exterior spre interior se succed astfel: Inelul A, lat de 17 000 km, este ceva mai întunecat decît planeta. El este urmat de așa-zisa „diviziune a lui Cassini“, un interval de 4 000 km lățime. Urmează inelul B, de 29 000 km lățime, a cărui strălucire este similară regiunii ecuatoriale a planetei. Vine apoi un nou interval, de numai 1 000 km, iar apoi inelul C, așa-zisul „inel de crep“, de 17 000 km grosime, cu aspectul unui văl diafan, dificil observabil. În sfîrșit, ultimul descoperit este inelul D, identificat prin astrofotografie, în grosime de 10 000 km, care ajunge pînă la atmosfera înaltă saturniană. Pioneer 11 a identificat încă o diviziune („diviziunea Pioneer“), precum și încă unul (poate chiar două) inele saturniene. Mai trebuie amintit că sateliții planetei au influențe gravitaționale notabile asupra inelelor, creînd de pildă zone „lacunare“, unde nu circulă particulele meteorice.

Cum au luat naștere inelele lui Saturn? După o ipoteză destul de verosimilă, ele sînt resturile unui satelit care se rotea foarte aproape de planetă și de aceea a explodat, frînturile lui risipindu-se pe orbite circumsaturniene.

E greu de spus de ce planeta a luat naștere atît de „ușoară“. Dar aceasta este o problemă care se pune, în mai mică măsură, și pentru Jupiter și Uranus, fiind legată probabil de structura internă a planetei.

● 6—7. Uranus și Neptun

Am ajuns astfel la primele planete care nu erau cunoscute în antichitate. Uranus și Neptun (împreună cu Pluton) constituie așa-zisele „planete moderne“, descoperite începînd din secolul al XVIII-lea, despre care dispunem de relativ

puține observații, avînd în vedere imensa distanță la care se află de Pămînt. Depărtarea lor față de Soare este de 20, respectiv de 30 ori mai mare decît a Pămîntului.

Așa cum am arătat, Uranus a fost descoperit de William Herschel la 13 martie 1781. De un volum care depășește de zeci de ori volumul planetei noastre, are o masă doar de 14,58 ori mai mare. O particularitate cu totul deosebită a lui Uranus este înclinația excepțional de mare a axei polilor față de perpendiculara la planul orbitei (98°); planeta se deplasează pe orbita de revoluție parcă „răsturnată“, aproape în planul acesteia. Efectele sînt multiple. Uranus are, în primul rînd, o rotație retrogradă. Pe de altă parte, uneori spre Pămînt este orientat planul ecuatorului, alteori însă o zonă polară. Anotimpurile sînt firește cu mult mai accentuate decît pe Pămînt, iar nopțile, care cuprind alternativ fiecare din cele două emisfere, durează, în preajma polilor, circa 40 de ani.

Uranus este, în multe privințe, o planetă de tip jovian-saturnian. În afara volumului considerabil, trebuie să consemnăm turtirea pronunțată, rotirea rapidă în jurul axei (sub 11 ore), mascarea suprafeței de către atmosferă. Anii 1976—1977 au dus la descoperirea a nouă inele ale lui Uranus, aflate la o distanță de 18 000—25 000 km de globul uranian.

Temperatura este, firește, foarte scăzută — cca. -180°C în zonele exterioare ale atmosferei. Atmosfera conține cantități mult mai mari de metan decît cea a lui Jupiter, iar G.P. Kuiper a descoperit, prin analiză spectrală, hidrogen. În ce privește amoniacul, prezent în cantități mai mici, acesta este probabil complet înghețat. În general, se poate presupune plutirea unor mari mase de gaze înghețate în atmosfera planetei. Metanul e în mare măsură în stare lichidă.

Detaliile discului uranian sînt greu observabile. Unii astronomi au semnalat totuși benzi paralele cu ecuatorul și pete, a căror formă mai precisă va putea fi determinată numai în urma investigațiilor astronautice. În orice caz, colorația planetei este aceea a unui disc verzui-albăstrui, ceea ce se datorește îndeosebi metanului. Un model al structurii

lui Uranus poate fi astfel conceput: un nucleu solid dens, apoi un strat gros de gheață, iar în exterior învelișul atmosferic. Gheața, metanul și amoniacul solid constituie, după R. Wildt, principalele componente atât ale lui Uranus cât și ale lui Neptun. Într-o lucrare specială despre planetele superioare, W.H. Ramsay apreciază că „Uranus și Neptun sînt alcătuiți mai ales din apă, metan și amoniac, laolaltă cu unii compuși de tip terestru“.

Neptun, planeta descoperită, cum am amintit, în 1846 de germanul Galle pe baza calculelor perturbațiilor orbitei lui Uranus de către Leverrier, înconjoară Soarele în aproape 165 de ani. Cea de-a opta planetă în ordinea depărtării de astrul zilei are axa polilor ceva mai înclinată față de planul orbitei decît Pămîntul. Durata rotației este de 15 ore și 48 minute, deci destul de rapidă, deși nu în aceeași măsură ca la celelalte gigante. Turtirea este superioară celei terestre, dar mult mai redusă decît la alte planete joviene. Deși mai mic decît Uranus, Neptun are o masă mai mare. Totuși, densitatea sa nu atinge nici jumătate din densitatea Terrei. Primind de 900 ori mai puțină lumină și căldură decît Pămîntul, Neptun este invizibil cu ochiul liber și are la suprafața atmosferei o temperatură de -210°C .

Privit prin telescop, Neptun apare ca un mic disc albăstrui. Deși faptul este deocamdată paradoxal, pe discul lui detaliile se identifică mai ușor decît la Uranus. Este vorba mai ales de pete neregulate, a căror natură nu e încă clară. În ce privește compoziția chimică, analiza spectrală a detectat în atmosferă metanul, dar amoniacul și hidrogenul sînt desigur de asemenea prezente.

De la descoperirea sa, Neptun nu a efectuat încă o revoluție completă pe orbită și multe dintre caracteristicile ce i-au fost calculate mai sînt încă supuse controversei. Cu toate acestea, numeroasele perturbații constatate în mersul său au dus la presupunerea influenței unei planete și mai îndepărtate. Dealtfel, încă din 1834, Hansen își exprimase părerea că

nici neregularitățile în evoluția planetei Uranus pe orbită vor putea fi explicate pe baza existenței unei singure planete transuraniene.

8. Pluton

În anul 1915, un an înaintea morții sale, astronomul Percival Lowell și-a încheiat calculele în legătură cu existența unei ipotetice planete transneptuniene. Pozițiile prevăzute erau însă necesarmente mai puțin precise decât în cazul descoperirii lui Neptun și studiul telescopic direct nu a dat rezultate. A durat de aceea 15 ani până ce la Observatorul Flagstaff (Arizona), creat de el, un tânăr asistent; Clyde Tombaugh să descopere, după un studiu detaliat și laborios, noua planetă; pentru prima dată un astfel de corp ceresc era descoperit prin astrofotografie. Data descoperirii, 23 ianuarie 1930, a intrat în istoria științei. Față de poziția prevăzută diferența poziției reale a fost de numai 5° , iar simbolul planetei a devenit P (inițialele lui Lowell).

Pluton, o planetă gălbuie, se află la limita virtejului din sistemele de planete astăzi cunoscute, la o distanță medie de 5,9 miliarde kilometri de Soare. Deplasându-se cu numai 4,74 km/s pe orbită, planeta efectuează un înconjur al Soarelui în aproape un sfert de mileniu. Primește de circa două mii de ori mai puțină căldură și lumină decât Pământul, iar temperatura este de aceea apreciată la -270°C . Soarele s-ar vedea de pe Pluton doar ca o stea luminoasă, așa încît acolo există o lume a veșnicului amurg.

După cum am arătat, orbita lui Pluton este cea mai excentrică și cea mai înclinată orbită planetară (față de ecliptică) din sistemul nostru solar. Prezintă ciudățenia că uneori se apropie de Soare mai mult decât Neptun (dar o ciocnire interplanetară nu este de temut, întrucît în spațiu orbitele nu se intersectează). După o ipoteză elaborată de G.P. Kuiper și Evry Schatzmann, aceasta se datorește faptului că Plu-

ton ar fi fost cîndva un satelit al lui Neptun, ceea ce ar explica orbita sa neobișnuită (dealtfel, acest punct de vedere a fost îmbrățișat și de alți astronomi).

Durata de rotație pare a fi de 6,4 zile, așa cum rezultă din variațiile periodice ale strălucirii, datorite probabil capacităților de reflecție diferite ale feței întoarse la un moment dat spre Pămînt. După măsurătorile efectuate în 1972—1973 de către Leif Andersson, de la Universitatea Indiana (SUA), axa de rotație a lui Pluton s-ar afla foarte aproape de planul orbitei planetare, ceea ce nu este încă sigur, anterior acceptîndu-se curenți alte valori.

În majoritatea tabelelor astronomice, multe mărimi ce-l caracterizează pe Pluton sînt înlocuite de semne de întrebare. Acest lucru se explică prin faptul că de pe Pămînt această planetă apare de dimensiunea unei stele de mărimea a 14-a și chiar în cele mai mari telescoape se prezintă aproape punctiform. Mai mult, datele calculate pe diferite căi au prezentat adesea contradicții, care constituie un veritabil „paradox plutonian”. Iată despre ce este vorba. Între evaluările *dimensiunilor și masei* lui Pluton exista o vădită neconcordanță. Perturbațiile pe care Pluton le provoacă în mișcarea lui Uranus și Neptun păreau a-i indica o masă apropiată de cea a Pămîntului, iar măsurătorile efectuate cu cele mai mari telescoape (Kuiper) indicau un diametru de 0,47 față de planeta noastră (decî un volum de 0,01 față de Terra). Coroborînd ambele evaluări, rezulta o densitate planetei de zece ori superioară celei a Terrei și de 50 ori superioară celei a apei, ceea ce părea absolut neverosimil, punînd rezultatele sub semnul întrebării. În ultimii ani* s-a recalculat însă masa lui Pluton, rezultînd, în 1968, de numai 0,18 față de masa terestră = 1. Cu aceasta, paradoxul pare soluționat. În ce privește diametrul plutonian, metoda cea mai precisă ar fi observarea ocultării unei stele de către Pluton (durata ocul-

* Iată evoluția evaluărilor masei; 1914—7 mase terestre; 1942—0,9 mase terestre; 1968—0,18 mase terestre.

tării ar permite cunoașterea diametrului). În anul 1965, cea de magnitudinea 15 a trecut la 0",125 de centrul lui Pluton, fără să fie ocultată; diametrul planetei ar rezulta deci a fi mai mic de 6 000 km, după unii de cca. 4 700 km. ceea ce nu este însă sigur.

În anul 1989, planeta va ajunge la periheliu, magnitudinea ei fiind simțitor mai mare decât la data descoperirii. Cu acest prilej, se vor face desigur determinări decisive. Deocamdată, nu putem preciza mărimea și nici masa lui Pluton. De asemenea, nu știm dacă Pluton are atmosferă, după cum nu cunoaștem nici vreun detaliu precis al suprafeței și de aceea nici durata certă a rotației. S-ar putea să fie vorba de un sistem dublu, Christy și Harrington presupunându-i un însoțitor de mari dimensiuni, cu diametrul de circa 1000 km (1978).

Poate că unele dificultăți în ce privește stabilirea unor caracteristici ale lui Pluton se datorează existenței unei (sau unor) planete transplutoniene, ipoteză la care ne-am mai referit și în primul paragraf al capitolului de față, ce trata despre sistemul planetar în ansamblul său. Influențele perturbatoare ale acestui astru ipotetic au dus la mai multe încercări de a calcula masa și orbita lui „Transpluton” a „planetei X”, a căror verificare numai viitorul o va putea aduce. Pe de altă parte, încă din anul 1950, astronomul german K. Schuette a atras atenția asupra grupării afeliilor orbitelor unor comete la o distanță medie de 85 U.A. de Soare; această „familie” de comete, similară „familiilor” cometare determinate de Jupiter și Saturn, s-ar datora, după el, planetei transplutoniene. S-au găsit și astronomi care i-au dat un nume: Proserpina. În 1971—1972, dr. Joseph L. Brady, de la Universitatea din California, a încercat să prognozeze, cu ajutorul unui calculator electronic, unele caracteristici ale „Planetei X”, pe baza perturbațiilor pe care le-ar provoca în deplasarea cometei Halley pe orbită. Concluzia sa este că planeta a zecea ar avea o masă de trei ori cât a lui Saturn, o perioadă de revoluție de 464 de ani, o înclinație de 120°

față de planul eclipticii și o magnitudine de 13 sau 14, fiind actualmente în constelația Cassiopeia. Pînă acum nu a fost însă descoperită și unii specialiști consideră existența ei foarte discutabilă, respingînd ferm argumentele lui Brady (P.K. Seidelmann, B. Marsden, H.L. Giclas). Cei trei autori amintiți susțin că o planetă avînd masa și elementele orbitale ale corpului ceresc prevăzut de Brady ar perturba în mod sensibil mișcările planetelor de la Jupiter la Pluton, ceea ce nu concordă cu datele de observație. Aceasta nu înseamnă însă că n-ar putea exista planete transplutoniene, poate cu alte caracteristici. În orice caz, într-un „Ghid al Cosmosului” este deocamdată hazardat a se spune mai mult despre toate acestea.

F. SATELIȚII PLANETELOR.

Satețiții artificiali sînt astăzi atît de numeroși — începînd din anul 1957, anul istoric al lansării primului sputnic — încît însuși termenul de „satelit” te face să te gîndești în primul rînd la ei. De aceste corpuri cerești remarcabile, create de mîna omului în veacul nostru, se ocupă numeroase lucrări speciale de astronomică. Să menționăm doar că pînă în 1979 mii de obiecte cosmice (sateliți, etaje ale rachetelor etc.) au fost „injectate” numai în spațiul circumterestru (de țări ca U.R.S.S., S.U.A., China, Franța, Marea Britanie, Canada, Australia, Italia, Japonia), pe lîngă corpurile cerești care au devenit sateliți artificiali ai Lunii, ai lui Marte etc.

În ghidul de față, ne vom referi la sateliții naturali ai planetelor cunoscuți pînă acum, la „lunile” din sistemul nostru solar. Spunem „cunoscuți pînă acum”, fiindcă cel de al unsprezecelea satelit al lui Saturn a fost descoperit abia în 1976 și este foarte probabil că explorarea telescopică, dar mai ales astronomică, a planetelor îndepărtate, va duce la îmbogățirea „zestrei” de luni din sistemul nostru planetar.

Până acum sînt cunoscuți 35 sateliți naturali, singurele planete care nu posedă — după toate probabilitățile — asemenea însoțitori fiind Mercur și Venus. Diametrele lor, ale căror valori sînt încă nesigure, variază între circa 10 km și circa 5 800 km; Titan, Ganimede și Callisto întrec chiar diametrul planetei Mercur, Triton aproape îl egalează. Orbitele sateliților au în general excentricități reduse; sateliții se rotește deci pe orbite aproape circulare. Cîțiva sateliți sînt retrograzi. La unii dintre ei (cei mari) a putut fi observată existența unei atmosfere (Ganimede, Io, Titan, Callisto etc.), ceea ce a dus la presupuneri asupra posibilității unor forme de viață, dar majoritatea sînt lipsiți de înveliș gazos. Și fragmentele din care sînt alcătuite inelele lui Jupiter, Saturn și Uranus pot fi considerate, într-un anumit sens, sateliți ai acestor planete. Există și sateliți pe care îi putem considera „ipotetici”; este cazul însoțitorului lui Pluton, dedus în 1978 din deformarea constatată pe fotografiile planetei și de satelitul nr. 14 al lui Jupiter, descoperit odată cu Leda (1974), iar apoi din nou detectat de sondele Voyager (1979).

Luna, de care ne-am ocupat în mod special în alt paragraf, are o situație deosebită, prin gigantismul ei în raport cu planeta noastră. Nici un alt satelit natural nu atinge o dimensiune și o masă atît de mari față de planeta sa. Astfel, Luna are un diametru de cca. $1/4$ față de Pămînt, urmată de Triton, care are un diametru de cca. $1/10$ față de Neptun. Masa Lunii este de 81 ori mai redusă decît masa Pămîntului, în vreme ce Triton are o masă de 800 ori mai redusă decît Neptun. Titan, unul din cei mai mari sateliți naturali, are o masă de 4 700 ori mai redusă decît Saturn. Evident, nu vrem să tragem prin aceasta vreo concluzie privitoare la o situație „excepțională” a satelitelui natural terestru, ci doar să remarcăm că astronomii de pe Terra au fost net avantajați în observațiile lor, dispunînd în Lună de un disc relativ mare, ușor de studiat. Sînt mulți sateliți care se zăresc doar ca un punct luminos sau nu se zăresc deloc de pe planetele lor, iar strălucirea cumulată a celor 14 sateliți jovieni cunoscuți, zăriți

de pe Jupiter, nu reprezintă mai mult de o treime din lumina Lunii zărită de pe Pământ.

Prezentăm, mai departe, un tabel al sateliților naturali, după H. Carmichel, completat cu unele date suplimentare mai noi datorate lui D. Morrison, D.P. Cruikshank și J.A. Burns (1977 — 1979). Acest tabel ne ghidează în lumea atât de interesantă a sateliților planetari. Se impun totuși câteva comentarii pe marginea sa și unele date în plus, începînd cu planeta cea mai îndepărtată și încheind cu cea mai apropiată de Soare. Să pornim în orice caz de la constatarea că planetele cele mai mari, cu o putere de atracție considerabilă (Jupiter, Saturn, Uranus), au cei mai numeroși sateliți. Există sateliți cu aspect stîncos, de culoare întunecată (sateliții marțieni și unii dintre sateliții planetelor giganti) și sateliți cu suprafețe de o mare strălucire, acoperiți de substanțe înghețate (mulți dintre sateliții lui Saturn).

Pluton are probabil un satelit, cu un diametru de 1000 km și o durată de revoluție de 6,4 zile (1978), încă foarte controversat (a fost dedus teoretic și încă neidentificat). Neptun posedă doi și probabil că acest număr va crește odată cu explorarea sa astronomică. E vorba de Triton și de Nereida. Cu diametrul său de cca. 4 800 km, cel dintîi este unul dintre cei mai mari sateliți cunoscuți al sistemului nostru solar și posedă o atmosferă rarefiată, alcătuită în principal din metan. Evoluează retrograd pe o orbită foarte înclinată. Nereida are cea mai mare excentricitate dintre toți sateliții: 0,749. Distanța sa față de Neptun variază între 1,5 și 10 milioane kilometri.

Cei cinci sateliți ai lui Uranus, botezați după numele unor eroi din operele lui Shakespeare, au toți o mișcare retrogradă (ca și planeta) și orbite aproape perfect circulare. Cel mai mare dintre ei — Titania — nu atinge totuși nici un sfert din diametrul lui Triton.

În ce îl privește pe Saturn, acesta are unsprezece luni, dintre care Ianus este penultimul satelit sigur identificat. Încă din 1957, descoperitorul său, A. Dollfus, îi prevăzuse

DATE PRINCIPALE DESPRE SATELIȚII

Denumirea satelitului și anul descoperirii	Durata revoluției side- rale (zile, ore, minute)	Semiaxa orbitei Depărtarea față de planetă (mii km.)
1	2	3
al Pământului <i>Luna</i>	27 zile 7 ore	384,4
ai lui Marte <i>Phobos</i> (1877) <i>Deimos</i> (1877)	7 ore 39 m 1 zi 6 ore 18 m	9,38 23,48
ai lui Jupiter 5 <i>Amalthea</i> (1892) 1 <i>Io</i> (1610) 2 <i>Europa</i> (1610) 3 <i>Ganymede</i> (1610) 4 <i>Callisto</i> (1610) 13 <i>Leda</i> (1974) 6 (1904) <i>Himalia</i> 10 (1938) <i>Lysithea</i> 7 (1905) <i>Elara</i> 12 (1951) <i>Ananke</i> 11 (1938) <i>Carme</i> 8 (1908) <i>Pasiphae</i> 9 (1914) <i>Sinope</i> 14 (1974 — 1979)	11 ore 57 m 1 zi 18 ore 27 m 3 zile 13 ore 14 m 7 zile 3 ore 42 m 16 zile 16 ore 32 m 250 zile 250 zile, 15 ore 260 zile 260 zile, 16 ore 631 zile (retr.) 692 zile, 12 ore (retr.) 743 zile, 17 ore (retr.) 762 zile, 23 ore (retr.) ?	181,0 421,8 671,1 1070,5 1882,9 11000 11478 11720 11737 21209 22564 23457 23725 57,0(?)
ai lui Saturn <i>Inelul</i>	4 ore 5m—13 ore 55 m	89,18—136,12
11 <i>S 11</i> (1976) 10 <i>Ianus</i> (1966) 1 <i>Mimas</i> (1789) 2 <i>Enceladus</i> (1789) 3 <i>Thetys</i> (1684) 4 <i>Dione</i> (1684) 5 <i>Rhea</i> (1672) 6 <i>Titan</i> (1655) 7 <i>Hiperion</i> (1848) 8 <i>Iapetus</i> (1671) 9 <i>Phoebe</i> (1898)	14 ore 17 ore 58 m 22 ore 37 m 1 zi 8 ore 53 m 1 zi 21 ore 18 m 2 zile 17 ore 41 m 4 zile 12 ore 25 m 15 zile 22 ore 41 m 21 zile 6 ore 38 m 79 zile 7 ore 55 m 550 zile 11 ore (retr.)	151,3 160 185,59 238,10 294,75 377,52 527,20 1221,5 1482,8 3560,1 12954

NATURALI AL PLANETELOR

Excen- tricitate	Magni- tadine	Diametru (km)	Masă (față de masă planetei)	Densitate (față de apă)
4	5	6	7	8
0,055	—12,7	3476	1/81,4	3,36
0,017	11,5	23		
0,003	12,0	14,9		
foarte slabă și variabilă	13 5,5 5,7 5,0 6,3	≈240 3640 3050 5270 5000	1/22240 1/39430 1/12520 1/22200	4,6 3,5 2,9 2,0
?	20	≈10	?	?
0,158	13,7	≈160		
0,107	19,0	≈24		
0,207	17,0	≈40		
0,169	19	≈26		
0,207	19	≈30		
0,410	18	≈36		
0,317	19	≈28		
?	?	≈35		
0,000	14	≈200		
0,000	14	≈250		
0,020	12,1	≈360	1/16340000	0,4
0,004	11,6	≈500	1/4000000	1,4
0,000	10,5	≈1040	1/921500	0,8
0,002	10,7	≈1000	1/536000	1,3
0,001	10,0	≈1600	1/250000	1,8
0,029	8,3	≈5800	1/4700	2,2
0,104	13,0	≈250		
0,028	10—12	≈1450		
0,166	14,5	≈240		

1	2	3
ai lui Uranus		
5 <i>Miranda</i> (1948)	1 zi 9 ore 56 m (retr.)	130
1 <i>Ariel</i> (1851)	2 zile 12 ore 29 m (retr.)	191,8
2 <i>Umbriel</i> (1851)	4 zile 3 ore 28 m (retr.)	267,2
3 <i>Titania</i> (1787)	8 zile 16 ore 56 m (retr.)	438,4
4 <i>Oberon</i> (1787)	13 zile 11 ore 7 m (retr.)	586,2
ai lui Neptun		
1 <i>Triton</i> (1846)	5 zile 21 ore 2 m (retr.)	355,3
2 <i>Nereida</i> (1949)	359 zile 21 ore 7 m	5560,0
ai lui Pluton		
1 (<i>ipotehic</i>)	6,4 zile	15,20

existența, datorită unor perturbări luminoase pe care producea în sistemul inelelor saturniene. Faptul că a fost atît de tîrziu descoperit (1966) se explică prin aceea că se află foarte aproape de stratul A al inelului (cca. 40 mii km), fiind totodată apropiat de Saturn și cu un diametru relativ redus. Cel mai mare satelit al lui Saturn (și al sistemului solar) este Titan (diametrul: 5 800 km). Sonda Pioneer 11 a confirmat atmosfera destul de densă presupusă satelitului, relevînd totodată că straturile ei superioare sînt calde și că în jurul său se află un inel de hidrogen. Suprafața este gâlbuie, de o natură încă necunoscută.

Cel mai mic dintre sateliții lui Saturn, Phoebe, cu un diametru de numai 240 km, este singurul cu o revoluție retrogradă și are o orbită cu înclinație accentuată. A fost descoperit prin astrofotografiere (ca și Ianus).

O curiozitate a sistemului de sateliți saturnieni este Iapetus. În primul rînd, colorația feței întoarse spre Saturn este mai deschisă decît a celei opuse și în al doilea rînd, forma sa prezintă o sensibilă abatere de la modelul sferoidal, obișnuit. Să fie vorba de un asteroid captat de uriașa planetă? În orice

4	5	6	7	8
0,000	19,0	≈ 300		
0,003	15,2	≈ 800		
0,004	15,8	≈ 550		
0,002	14,0	≈ 1000		
0,001	14,3	≈ 900		
0,000	13,6	≈ 4800		
0,749	19,5	≈ 300		
0,0	16	≈ 1000		

caz, magnitudinea lui Iapetus este sensibil mai mare cînd se află la vest de Saturn decît cînd se află la est de planetă. Ultimul descoperit (S11) are un diametru de 200 km și se rotește în 14 ore în jurul planetei (se pare că sonda Pioneer 11 ar mai fi descoperit în 1979 un al doisprezecilea satelit saturnian).

Pînă în 1892, numărul sateliților cunoscuți ai lui Jupiter, descoperiți încă de Galilei, nu trecea de 4; fapt pe deplin explicabil, căci aceștia sînt și cei mai mari. În anul 1892, astronomul Barnard a descoperit pe cel de al cincilea, Almatheea. 4 sateliți au fost descoperiți de Nicholson, între 1914 și 1951. Sateliții 13 și 14 au fost descoperiți în 1974 (ultimul confirmat de Voyager 2 în 1979). Lui Jupiter a ajuns să i se recunoască pe deplin ceea ce era denumit încă de mult „Mundus Jovialis” („Lumea lui Jupiter”), nu mai puțin de 14 sateliți, cel mai mare număr cunoscut în sistemul nostru solar (fiecare satelit jovian are un număr care corespunde succesiunii descoperirii sale). Unul dintre ei (Ganimede), îl întrece în diametru pe Mercur și are atmosferă. Ca și Luna, acești sateliți sînt întorși mereu cu aceeași față spre planetă. Io, Europa, Callisto, Ganimede au de asemenea atmosferă, din care nu lipsesc vaporii de apă. Strălucirea lui Ganimede se datorește, după

V. G. Fesenkov, faptului că are la suprafață un strat de bioxid de carbon înghețat. În cadrul acțiunilor Pioneer și Voyager (1973—1979), o parte din sateliții jovieni au putut fi fotografiați de aproape. Pe Io s-au detectat de pildă în 1979 cel puțin 4 vulcani activi, scurgeri de lavă la suprafață, în general caractere de corp ceresc tânăr, o culoare predominant portocalie. Pe Ganimedee și Callisto au apărut peisaje frământate, lunare, cratere probabil de origine internă, mari mase de materie înghețată. Modelele structurii interioare (1976—1978) presupun pentru Io și Europa o alcătuire formată în esență din silicați, iar pentru Ganimedee și Callisto nuclee de metan și amoniac lichiefiat, asociate cu diferite roci. Voyager 2 a fotografiat pe Europa o imensă calotă de gheață puternic crăpată.

Cel mai îndepărtat dintre sateliții lui Jupiter, Sinope, se rotește la circa 24 milioane kilometri de planetă, revoluția sa durind cam doi ani terestri. În schimb, Almatheea nu are nevoie decît de 11 ore și 57 minute pentru a înconjura giganțul. Întrucît suprafața (poate fluidă) a lui Jupiter, de o natură încă neprecizată, s-ar putea să se prezinte ostilă astronautilor, nu este exclus ca Almatheea, un corp stîncos, să ofere astronauticii o bază favorabilă pentru observarea planetei, la sfîrșitul acestui secol sau la începutul celui următor. În sfîrșit, să remarcăm că atunci cînd un satelit jovian trece prin fața planetei, se observă o pată neagră și rotundă (umbra sa) pe suprafața ei; este ceea ce în astronomie se numește un „pasaj”. Cu secole în urmă, sateliții lui Jupiter i-au permis lui O. Rômer o determinare remarcabilă a vitezei cu care se deplasează lumina.

Am ajuns astfel la ultimii dintre sateliții de care ne vom ocupa, aceia ai planetei Marte, descoperiți încă din secolul trecut de astronomul Hall, dar studiați pentru prima oară îndeaproape abia cu ajutorul sondei spațiale americane Mariner 9, la sfîrșitul anului 1971, cînd cele două astre au și fost fotografiate (ulterior și de sondele Viking), constatîndu-se forma lor elipsoidală, neregulată, presărată cu circuri, precum

și o culoare întunecată. Pentru Deimos s-a determinat o lungime de cca. 14,9 km și o lățime de cca. 12 km. Pe Phobos s-a descoperit fotografic un crater avînd un diametru de 6,8 km, ceea ce este foarte mult pentru lîngimea de cca. 23 km a întregului satelit (n-a lipsit mult ca impactul meteoric să distrugă satelitul). (Forma neregulată a lui Phobos era bînuită încă din anul 1970, cînd Mariner 7 fotografiase umbra sa proiectată pe planetă.) În orice caz, este vorba de doi sateliți foarte mici și foarte apropiați de planetă (poate că și planetele gigante au astfel de sateliți, dar n-au putut fi observați). Denumirea lor (în traducere: „Spaima” și „Groaza”) se explică prin denumirea însăși a planetei, după zeul războiului. Probabil că este vorba de meteoriți sau asteroizi capturați de planetă.

De pe suprafața lui Marte, Phobos s-ar vedea ca rotindu-se în jurul planetei într-un sens opus lui Deimos. În realitate, explicația fenomenului constă în viteza cu care Phobos își face revoluția, durata acesteia fiind mai mică decît durata rotației lui Marte în jurul propriei axe: un punct oarecare din suprafața planetei rămîne astfel „în urmă” față de goana satelitului, ceea ce duce la fenomenul amintit. Încă neexplicată este ipoteza reducerii treptate a duratei revoluției lui Phobos, a apropierii sale progresive de planetă. Oare această minusculă lună, de dimensiunile unui asteroid mic, va cădea pînă la urmă pe planetă? În orice caz, ipoteza lui I.S. Șklovski, după care Phobos și Deimos ar fi sateliți artificiali ai lui Marte, goi pe dinăuntru, lansați cîndva de purtătorii unei civilizații superioare, pare cu totul neverosimilă în lumina cercetărilor actuale, mai ales că cele două luni marțiene sînt de o vîrstă foarte înaintată și nu au nimic care să sugereze „fabricarea” de către făpturi raționale.

Nu ne vom opri aci asupra Lunii, pe care am tratat-o separat. În ceea ce le privește pe Venus și Mercur, ele sînt lipsite de sateliți naturali cunoscuți; probabil că nici nu există. Dacă pentru Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun și Pluton putem presupune că se vor descoperi noi sateliți naturali,

Mercur, Venus și Marte sînt prea aproape de „ochii de sticlă” ai astronomilor de pe Terra pentru ca să mai putem face o astfel de prezumție.

G. CORPURILE METEORICE

1. Obstacole cosmice

Romanele de anticipație și-au axat adesea „accidentele” imaginare ale navelor cosmice pe ciocniri cu corpurile meteorice care circulă în Univers. Deși o asemenea primejdie nu poate fi exclusă cu totul, experiența astronomică de pînă acum arată că este mai mică decît parea înaintea inaugurării erei cosmice. „În vecinătatea orbitei-terestre — citim într-o recentă enciclopedie astronomică* — distanța medie între particule meteorice de peste 1 mm diametru este de mai mulți kilometri. Iată de ce pericolul meteoric în cursul zborurilor cosmice este redus. Particulele de peste 1mm lovesc o suprafață de 1 m² în medie o dată la mai multe zeci sau la mai multe sute de ani. Șocurile particulelor mai mărunte, de ordinul miimilor de milimetru sînt, mai frecvente, de 1 miliard — 1 bilion ori, adică un șoc la cîteva minute pînă la mai multe șocuri pe secundă”.

Cu toate acestea, astronautica ia în considerare această posibilitate, fără să uite că urmările unei coliziuni eventuale a unui vehicul cosmic cu o particulă meteorică depind de viteza de șoc și de masa particulei. Actualele „cuirase” ale navelor pot fi străpunse de particule cu o masă de numai cîteva zeci de miligrame, iar particule mai mici pot duce la o eroziune progresivă a stratului protector, ca și a suprafețelor optice și fotosensibile, neprotejate. Au și fost aplicate diferite sisteme de apărare, de pildă în cazul laboratorului spațial Skylab (1973—1979).

* *Encyclopédie soviétique de l'astronautique mondiale*, Moskva, 1971, p. 137.

Protecția antimeteorică, cu atât mai necesară cu cât zborurile sînt mai lungi și cu cât există posibilitatea străbaterii unor curenți meteorici, a elaborat diferite tehnici. Printre acestea, se preconizează instalarea de ecrane metalice fine la oarecare distanță de pereții etanși ai navei; acestea ar urma să suporte primul șoc, să sfărîme particula meteorică și să-i reducă energia cinetică. Se studiază și instalarea unui sistem automat de reperare a perforațiilor și de astupare imediată a lor etc. Coliziunea cu un corp meteoric de dimensiuni mijlocii (10—20 cm) nu și-a găsit încă antidotul, dar probabilitatea ei este infimă.

Mai înainte de a fi luați în considerare ca „obstacole cosmice“ ale zborurilor spațiale, corpurile meteorice au fost în atenția astronomilor datorită faptului că rămășițele lor, ajunse pe Pămînt — denumite „meteoriti“ —, au constituit unicele „mostre“ de rocă extraterestră existente pe Terra apte de a fi analizate în laboratoarele pămîntești.

E drept, caracterul lor extraterestru nu le-a fost întotdeauna recunoscut. După ce realitatea căderii unor „pietre din cer“ a fost acceptată de-a lungul unei mari părți a antichității și evului mediu (erau chiar socotite „mesageri sfinți“ și prinse în lanțuri în lăcașurile de cult, ca să nu se „întoarcă înapoi“), a urmat o ciudată reacție. În secolele XVII și XVIII mai ales, savanții au susținut insistent ipoteza că meteoriti sînt roci terestre aruncate din gurile vulcanilor, lovite de trăsnet sau ridicate de trombe și azvîrlite înapoi pe Pămînt. De aceea, multe muzee au și renunțat la colecțiile lor de meteoriti. Considerînd drept superstiții mărturiile unor oameni care asistaseră la căderi meteoritice, Academia de Științe a Franței a respins — de pildă — relatarea unor săteni din Gasconia, care asistaseră la 24 iulie 1790 la o intensă ploaie meteoritică, consemnînd în documente că „desigur s-au înșelat“ și statuînd solemn că „din punct de vedere fizic, căderea pietrelor din cer nu este posibilă“ (printre semnatarii procesului verbal s-a numărat însuși marele savant Lavoisier). Doar treisprezece ani mai tîrziu, în 1803, același for academic a fost

nevoit să trimită o comisie de anchetă la Laigle, lângă Paris, unde se produsese o intensă ploaie meteoritică, a cărei autenticitate cosmică nu a putut fi contestată. Autoînfirmindu-și verdictul anterior, Academia a repus definitiv meteoriții în drepturile lor.

Abundența ploilor meteoritice poate fi ilustrată de următoarele date: la Laigle au căzut, pe o arie de 4×11 km, circa 3 000 pietre meteoritice, iar la Pultusk (Polonia) au căzut, pe o arie de 30 km², circa 100 000 fragmente (1888).

2. Universul în laborator

În calitate de componenți ai lumii extraterestre — într-o vreme cînd astronauții și sondele automate nu aduceau roci de pe alte corpuri cerești — meteoriții trebuiau să dea răspuns în primul rînd unei probleme principale. Oare materia este aceeași în tot Universul? Concluzia laboratorului a fost neechivocă: în compoziția meteoriților nu se găsește nici un element chimic care să nu existe și pe Pămînt. Cu aceasta se aducea o însemnată dovadă a unității materiale a Universului. Elementele cele mai răspîndite din meteoriți sînt fierul, oxigenul, nichelul, magneziul și siliciul.

Cele trei tipuri principale de meteoriți cunoscuți sînt:

- *sideriții* (meteoriți feroși)
- *aeroliții* (meteoriți pietroși)
- *sideroliții* (meteoriți feropietroși)

Cei mai numeroși sînt aeroliții.

La aceste trei tipuri trebuie adăugate *tectitele*, cu aspect sticlos, alcătuite mai ales din bioxid de siliciu. Cum nu fusese observată nici o cădere de tectite, originea lor cosmică era controversată, dar recenta descoperire a unor formațiuni similare și în Lună pare să o confirme.

Din cei peste 1 600 meteoriți înregistrați în cataloage, 60% sînt pietroși (aeroliți), 35% feroși (sideriți) și 5% fero-

pietroși (sideroliți)*. Iată, după E.L. Krinov, procentele medii pe care le prezintă diferitele elemente în aceste trei tipuri de meteoriți menționate:

Elementul chimic	Sideriți	Aeroliți	Sideroliți
Fier	89,00	25,60	49,50
Nichel	9,10	1,10	5,00
Cobalt	0,62	0,14	0,25
Cupru	0,04	0,01	—
Fosfor	0,18	0,10	—
Carbon	0,12	0,16	—
Oxigen	—	36,20	21,30
Magneziu	—	14,30	14,20
Siliciu	—	18,00	9,75
Natriu	—	0,30	—
Aluminiu	—	0,76	—
Calciu	—	1,30	—
Potasiu	—	0,07	—
Mangan	—	0,18	—
Crom	—	0,14	—
Sulf	0,08	1,89	—

F.G. Watson indică pentru aeroliți 36,3% oxigen, 24,1% fier, 18,0 siliciu și 13,9 magneziu, iar pentru sideriți 90,8% fier, 8,5% nichel și 0,59% cobalt. După cum se vede, valorile sînt apropiate. După Watson însă, aeroliții sînt de 7 ori mai numeroși ca sideriții. După H.H. Nininger, poate cel mai mare colecționar de meteoriți din lume, proporția aeroliților față de sideriți este și mai mare. D. Godillon, consideră că

* Ca pretulîndeni, și în muzeele sau în colecțiile geologice din România există meteoriți. Amintim o bucată destul de mare din meteoritul feros căzut la Moci (județul Cluj) care poate fi văzută într-una din vitrinele Muzeului de Științele Naturii din Ploiești. Un fragment din meteoritul pietros căzut la Sopot (județul Dolj) în 1927 se află la Muzeul Astronomiei Românești.

procentele medii ale elementelor chimice principalele din toate categoriile de meteoriți sînt: fier -- 72%, oxigen 10%, nichel 6%, siliciu 5%, magneziu 4%.

Procentele din tabelul lui Krinov sînt *medii*, existînd meteoriți cu un procent cu mult mai ridicat sau mai coborît dintr-un anumit element. Pe de altă parte, în unii meteoriți s-au găsit și alte elemente decît cele din tabel: argint, aur, platină, radium, uraniu, toriu ș.a.

Dacă în ce privește elementele chimice din care sînt alcătuiți meteoriții, acestea nu diferă de cele cunoscute, în schimb în compunerea „pietrelor cerești” intră — pe lângă minerale terestre, ca feldspatul sau piroxenul — și minerale care s-au format în condiții cu totul diferite de cele terestre: dobreelit, lawrencit, schreiberezit, tröilit ș.a. (multe dintre acestea sînt avide de oxigen și pe Pămînt intră repede în combinație cu acesta, ceea ce duce la apariția unor pete ruginii caracteristice).

Printre componentele cu totul neașteptate ale meteoriților, să notăm și apa (descoperită de L.G. Kvaša într-un meteorit, în proporție de 8,8%), precum și compuși organici, de pildă acid ribonucleic (M. Calvin ș.a.). Unele caracteristici, cu care însă nu sînt de acord toți specialiștii în materie, par să fi pus în evidență chiar și alge și microorganisme fosilizate. Cercetările în această ultimă direcție continuă cu un mare interes. E greu de conceput ca pe un meteorit să fi luat naștere forme de viață, este însă posibil că el este o frîntură dintr-un corp ceresc mare, purtător de viață. În nr. 6/1972 al cunoscutei reviste *Sky and Telescope* se amintea de ipoteza lui Svante Arrhenius (1903), după care viața se transmite de la un sistem planetar la altul prin intermediul meteoriților. Această presupunere, arată revista, se cere acum reactualizată, considerîndu-se că meteoriții distribuie în spațiul cosmic materiale prebiologice, de pildă aminoacizi și formaldehidă, care pot servi ca precursori ale vieții. Marele astrofizician Fred Hoyle consideră că viața a apărut pe Pămînt ca urmare a moleculelor organice aduse din spațiu de meteoriți și comete.

Pentru recunoașterea unui meteorit, foarte importantă este crusta de topire de la suprafață, de culoare închisă, produsă prin încălzire, la frecarea cu aerul. Alt semn de recunoaștere îl reprezintă adinciturile săpate de aer, la suprafață, asemenea urmelor unor degete, așa-ziiși „regmaglipti” sau „piezoglipti”. Suprafețele de spărtură, în general mai deschise la culoare, cuprind câteodată mici incluziuni albe, din fier-nichel sau concrețiuni aurii, dintr-un compus al fierului cu sulfurul. Alteori, în spărtură se observă un fel de bile, așa-ziiși „hondri”, produși de virtejurile de aer. În cazul șlefuirii suprafeței de ruptură a unui meteorit feros și dacă se toarnă peste ea acid azotic, apar așa-zisele „figuri ale lui Widmanstätten”, un desen complicat din linii și benzi drepte, care se întretaie. Prezența unor elemente radioactive a permis determinarea vârstei unor materiale ce compun meteorii, din care cele mai vechi s-au dovedit a fi de circa 4,5 miliarde de ani.

3. Spre Pământ...

De la început trebuie să facem deosebirea între trei noțiuni, care sînt adesea confundate: *corpul meteoric* este fragmentul solid, de dimensiuni în general modeste, care circulă prin spațiul cosmic; *meteorul* („steaua căzătoare”) este fenomenul luminos pe care acesta îl provoacă prin volatilizarea sa în atmosferă, cînd se degajă o mare cantitate de căldură și lumină; *meteoritul* este „rămășița” corpului meteoric, ajunsă pe Pământ, după ce o mare parte din corpul meteoric s-a consumat prin volatilizare.

Procesul parcurgerii atmosferei de către corpul meteoric este deosebit de complex. Blindajul gazos al globului terestru consumă integral imensa majoritate a pietrelor cerești, care se prefac, în numai cîteva zeci de secunde, în vapori incandescenti și pulberi, ce se depun ca o cenușă pe sol. Numai corpurile meteorice mari au oarecari șanse ca nucleul lor să ajungă pe Terra. La suprafața Pămîntului ajunge deci doar

o frîntură din masa cu care corpurile meteorice au pătruns în atmosferă, partea rămasă neconsumată. Tocmai asemenea frînturi formează meteoriții din muzee.

În zonele cele mai înalte ale atmosferei, corpurile meteorice sînt prea puțin afectate de contactul cu mediul gazos, datorită rarefierii acestuia. Abia de la cca. 200 km înălțime, frecarea cu aerul devine mai intensă. Suprafața corpurilor meteorice începe să se încălzească și mediul înconjurător se incinge de asemenea. În fața corpului meteoric aerul e totodată puternic comprimat, se formează acolo o adevărată pernă de aer. Începînd de la 120—130 km înălțime, încălzirea lui se accentuează, temperatura urcînd pînă la mii și zeci de mii de grade, ceea ce produce un fenomen de incandescență, care de pe Pămînt se zărește ca „meteor”. Strălucirea acestuia este legată nu numai de temperatura înaltă, ci și de procese de ionizare. Dacă strălucirea meteorului este foarte mare, el se numește „bolid”. Bolizii produc un zgomot puternic, datorită vibrației aerului, care se aude pînă departe asemenea rostogolirii unui tunet. În cazul corpurilor meteorice foarte mari, pe cer se zărește un „glob de foc”, care luminează noaptea ca un adevărat Soare (un corp meteoric de 5 kg pătruns în atmosferă poate egala în strălucire Luna). În același timp, la suprafața corpurilor meteorice se formează o „zonă de topire”, care, antrenată parțial de curenții gazoși ce se scurg de-a lungul lor, dă naștere unei cozi luminoase sau chiar mai multor cozi. Totodată, corpul meteoric este modelat, uneori în forma unui cap de obuz; alteori, își păstrează o formă neregulată, mai ales cînd se rotește în cursul căderii.

Treptat, viteza acestor vizitatori ai Pămîntului — care au pătruns în atmosferă cu iuțeli de 12—72 kilometri pe secundă — scade, frînată de aerul tot mai dens, pînă ce, pe la 20—30 km înălțime, viitorii meteoriți ajung în așa-zisa „zonă de oprire”. Aci încălzirea încetează, iar ceea ce a rămas din piatra meteorică continuă să coboare numai sub acțiunea propriei greutate, învelită într-o crustă de topire. Sînt cazuri în care presiunea aerului, putînd atinge sute de kilograme pe

centimetrul pătrat, produce explozia corpului meteoric, ceea ce duce la risipirea fragmentelor pe o mare suprafață, așa cum s-a întâmplat cu ploaia meteorică de la Moci.

Există — foarte rar — corpuri meteorice de sute sau mii tone, cărora aerul nu reușește decât în mică măsură să le reducă viteza cosmică; urmele lor pe cer persistă minute la rind, colorația acestora variind între portocaliu și verde. Pe lângă fenomenele intens-luminoase pe care le produc, acești giganti își fac puternic simțit șocul cu Pământul. Astfel, craterul meteoric din Arizona (S.U.A.) atinge un diametru de 1207 m și o adâncime de 174 m. Corpul meteoric care l-a produs avea, după Öpik, 2,6 milioane tone. Mai există pe Pământ și alte 20 cratere mari, în Labrador, Texas, Arabia, Africa, Argentina, Antarctida etc. Cel mai mare crater meteoric a fost descoperit în Africa de Sud, avînd un diametru amintind de circurile lunare mari: 120 km. După R. Daly, Terra a fost izbită în acest caz de o masă solidă cu un volum de 800 km³. Dar aceste corpuri meteorice sînt, mai de grabă, mici asteroizi. După unele evaluări, corpurile meteorice capabile să producă cratere cu un diametru de peste 10 m cad în medie pe planeta noastră o dată la 100 de ani.

Alteori, din fericire foarte rar, giganții aceștia produc, prin explozia lor, efecte devastatoare, așa cum s-a întâmplat în două cunoscute cazuri petrecute în Siberia, în 1908 și 1947. Primul a distrus pădurea pe o rază de 50 km și a produs un cutremur înregistrat pînă și de seismografele din Australia și America, iar din craterele produse de cel de al doilea expedițiile științifice au strîns fragmente meteorice de peste 23 tone*. Printre ultimele căderi meteorice remarcabile se numără cea de la 8 februarie 1969, din Mexic. Corpul meteoric, de o mare strălucire, a explodat în aer, fragmentele

* Există o controversă între savanți cu privire la natura corpurilor cerești care au izbit în 1908 și 1947 Pământul: meteorit sau cometă? — în primul caz (1908); meteorit sau asteroid? — în al doilea caz (1947).

risipindu-se pe o suprafață de cca. 150 km². Cel mai mare dintre fragmentele descoperite cântărește 4,180 kg.

Iată câțiva meteoriți giganti descoperiți pe Terra, în ordine dimensiunilor: *Hoba* — 60-70 tone, descoperit în Namibia, lângă Grootfontein, în 1927; *Anihitio* — 34 tone, descoperit în Groenlanda și adus în S.U.A., actualmente expus la planetariul Hayden, din New-York; meteoritul din deșertul Gobi (R.P. Chineză) — 30 tone — transportat și expus actualmente la Urumchi, în nord-vestul țării; *Bacubirito* — 25 tone, descoperit în Mexic în 1863; *Mbosi* — 20-25 tone, descoperit în Tanzania în 1930. Desigur că și alții mai așteaptă să fie identificați.

La antipodul meteoriților giganti, sînt micrometeoriții, adică corpurile meteorice cu un diametru de sub 0,1 mm.

Pericolul meteoritic nu este cituși de puțin îngrijorător pentru locuitorii Pămîntului. După La Paz, un meteorit ajunge să lovească un om doar o dată la 300 ani. Nu există însă cazuri cunoscute în istorie. În ce privește meteoriții, se apreciază că un observator atent poate vedea 4—10 astfel de fenomene luminoase pe oră (în perioade „liniștite“). După P.M. Millmann și M.S. Burland, în 24 ore sînt vizibili, pe întreg Pămîntul, cu ochiul liber, cca. 2000 milioane meteori. După American Meteor Society, într-un an sînt observabili cu ochiul liber circa 9 miliarde de meteori. Nu e deci vorba de un fenomen rar.

4. Curenții meteorici

La 11 noiembrie 1799, exploratorul și naturalistul Alexander von Humboldt a observat o intensă „aversă“ de steluțe în Venezuela. În decursul a patru ore, a zărit câteva mii de bolizi și meteori, unii cu un diametru aparent pe boltă superior Lunii. În 1833 și 1866, fenomenul s-a repetat, cu o mare intensitate. Mai mulți observatori au remarcat că toate direle de lumină păreau să izvorască dintr-un

același punct al bolții (în constelația Leului, în cazul respectiv). Astfel a fost descoperit ceea ce s-a numit *radiantul* acestui curent meteoric (Leonidele). Ulterior, s-a dovedit că orbita curentului Leonidelor era identică cu aceea a cometei Tempel-Tuttle 1866 I. Mai târziu, curentul a îmbătrinit și s-a rarefiat, dar a suferit și „accidente”. Astfel, faptul că în 1899 nu s-a mai ivit, s-a datorat împrejurării că în 1898 Jupiter îi produsese o amplă perturbație, deplasându-i traseul cu două milioane kilometri. Pentru noiembrie 1966, se prevăzuse totuși o nouă întâlnire a curentului meteoric cu Pământul, care efectiv a avut loc. La Tucson, în Arizona un grup de observatori a înregistrat, în timp de 10 minute, o medie de 20 meteori pe secundă. Pe de altă parte, un satelit artificial — Vanguard III — a traversat curentul, înregistrând, într-un interval de 20 ore, 2 800 coliziuni cu micro-meteoriți, după cum relatează revista *L'Astronomie* din iulie 1967.

Să precizăm deci: Spațiul interplanetar este străbătut de miliarde de corpuri meteorice. Unele dintre acestea sînt așa-zisele corpuri meteorice sporadice, care parcurg răzleț Cosmosul, de obicei pe orbite circumsolare. Altele fac parte din uriași nori de corpuri meteorice formînd curenții meteorici. Aceștia sînt de trei categorii:

— Curenți cu orbite asemănătoare Terrei, parcurse în 1—3 ani, puțin înclinate față de ecliptică.

— Curenți cu o mare excentricitate a orbitei, al cărei afe-liu se găsește dincolo de Jupiter și prezintă o înclinare considerabilă față de ecliptică; perioada de revoluție e de zeci de ani.

— Curenți cu orbite de mică excentricitate (ajung pînă în apropierea orbitei lui Jupiter) și au perioada de revoluție ceva mai scurtă (4—15 ani); prezintă o înclinație mijlocie față de ecliptică.

Cînd Pământul se întîlnește cu orbitele curenților meteorici, se produc „activități intense” ale radiantilor respectivi sau chiar „ploi de stele”.

Cel dintii care a precizat legătura dintre comete și curenții meteorici a fost G. Schiaparelli (astronomul care a „imaginat” „canalele” de pe Marte). El a arătat, prin calcul, că curentul Perseidelor are aceeași orbită ca și cometa Swift-Tuttle 1862 III. După cite se pare, cei mai mulți curenți rezultă din dezagregarea, parțială sau totală, a nucleelor cometare, în acest caz curentul avind aproape aceeași orbită ca și cometa-mamă. E posibil ca și ciocnirile dintre asteroizi sau dintre asteroizi și comete (Fred L. Whipple) să fie la soriginea unor curenți, ba chiar și dezagregarea unor planete (C.N. Cirvinschi) sau erupții vulcanice extrem de puternice de pe planetele gigante (S.V. Vsehsviatski). Dintre toate acestea, numai originea cometară a curenților meteorici poate fi considerată în mod cert dovedită. O confirmare spectaculoasă a constituit-o dezagregarea cometei Biela. Descoperită în 1826 de către astronomul ceh W. Belii, acesteia i s-a calculat o perioadă de revoluție în jurul Soarelui de 6,6 ani. A revenit, într-adevăr, în 1832. În anul 1845—1846, s-a produs ruperea ei în două, iar în 1852 distanța dintre cele două „Biele” sporise la 2,5 milioane kilometri. Apoi, cometa n-a mai revenit, pînă cînd, la 27 noiembrie 1872, s-a produs o ploaie meteorică de mare intensitate, despre care s-a stabilit că provenea din destrămarea cometei Biela și împrăștierea corpurilor meteorice pe orbita acesteia: Bieli-dele.

La întîlnirea unui curent meteoric cu planeta noastră, se produc ploi meteorice, denumite după numele constelațiilor în care se află punctele radiante respective: Andromedide, Perseide, Tauride, Leonide etc.

Ca și asteroizii mici, ca și cometele, curenții meteorici sint adesea deviați de pe orbitele lor inițiale, sub influența Soarelui și planetelor, care le diminuează și masa, prin captarea unei părți din materia lor. La partea practică („Microghidul astronomului amator”) vom da o listă de curenți meteorici, folositoare mai ales pentru observații. Actualmente sint cunoscuți circa 1 300 curenți meteorici.

Cantitatea de material meteoritic care cade zilnic pe Terra este controversată. După Donald H. Menzel, pe Pământ ajung zilnic 4 tone materie meteoritică. După V.P. Gluşko, în atmosferă pătrund zilnic câteva mii de tone de materie meteorică, din care cca. 6 tone ajunge la sol. Există şi aprecieri mult mai mari. Aparatele mai perfecţionate ale viitorului vor arăta de partea cui este dreptatea.

Importantă este semnalarea meteorităilor căzuţi pe Pământ observatoarelor astronomice, căci astăzi numai o mică parte dintre ei ajung să fie identificaţi de specialişti şi nu este nicidecum o anecdotă faptul că în străinătate o piatră meteoritică a fost întâmplător găsită în casa unui sătean, unde servea ca greutate într-un butoi de varză. Anual, pe Terra ajung cel puţin o mie de meteoriti; or, în toate muzeele, numărul lor este de circa 1800.

II. LUMEA ASTEROIZILOR

1. Dezlegarea enigmei kepleriene

Asteroidii sînt cunoscuţi în ştiinţă şi sub denumirile, astăzi mai puţin uzitate, de „planetoizi“, „planete mici“, „planete pitice“. Şi-au făcut spectaculos apariţia în ştiinţă la începutul secolului al XIX-lea, constituind o surpriză pentru astronomi, o categorie de corpuri cereşti, membre ale sistemului planetar, neprevăzută a fi descoperită.

Şi totuşi... În zona unde s-au făcut primele descoperiri şi unde se află cei mai voluminoşi şi numeroşi asteroizi, se aştepta de mult să se găsească „ceva“. Primul care a emis o ipoteză în acest sens a fost, după cum am indicat în capitolul istoric, Kepler. Cea de-a treia lege a sa i-a permis să calculeze distanţele mijlocii dintre planete şi Soare, pornind de la cunoaşterea perioadelor de revoluţie ale planetelor. Considerînd distanţa Pământ-Soare = 1 (ceea ce corespun-

de unității astronomice), distanțele planete-Soare au rezultat. (pe atunci se cunoșteau doar planetele enumerate mai jos) astfel:

Mercur-S. Venus-S. Pământ-S. Marte-S. Jupiter-S. Saturn-S.

0,39	0,72	1,00	1,52	5,20	9,54
------	------	------	------	------	------

Analizând intervalele, Kepler a fost izbit de mărimea intervalului Marte-Jupiter: de la 1,52 la 5,20 U.A. În lucrarea sa *Prodromus dissertationum continens misterium cosmographicum* (1597), el a prezis descoperirea unui corp ceresc — se gîdea, firește, la o planetă — între orbitele lui Marte și Jupiter. Pe urmele acestei previziuni, un mare număr de astronomi s-au străduit, timp de două secole, să descopere planeta ipotetică.

Mulți au renunțat însă la strădania lor, care părea infructuoasă, cînd o nouă împrejurare a dat avînt cercetărilor. S-a stabilit ceea ce de obicei se numește legea (empirică) a astronomilor Titius și Bode (1778). Observînd că distanțele planete-Soare cresc cu o regularitate vădită, ei au încercat să exprime această constatare matematic. Au pornit de la un șir de numere unde fiecare membru, începînd cu cel de-al treilea, este dublul celui precedent (primul membru fiind = 0). Deci:

0,0	0,3	0,6	1,2	2,4	4,8	9,6	19,20
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------

Mergînd mai departe, au adăugat fiecărui membru al șirului rația de 0,4, obținînd:

0,4	0,7	1,0	1,6	2,8	5,2	10,0	19,6
-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------

Pînă aici, nimic deosebit. Să comparăm însă *valorile obținute* (I) cu *distanțele planete-Soare*, exprimate în unități astronomice, (II). Ajungem la:

I	0,4	0,7	1,0	1,6	2,8	5,2	10,0	19,6
II	0,39	9,73	1,0	1,52	?	5,20	9,54	?
	M.	V.	P.	M.		J.	S.	

Seria Titius-Bode din I prezintă astfel valori foarte apropiate de distanțele reale Soare-planete din II. Cele două spații libere, notate cu semnul de întrebare în II, așteptau parcă completarea lor. Prima confirmare a venit în 1781. William Herschel a descoperit atunci, cum arătam, planeta Uranus, la 19,2 U.A. de Soare, deci foarte aproape de poziția rezultată din seria amintită. A început de aceea căutarea, tot mai febrilă, a planetei dintre Marte și Jupiter, pe care legea Titius-Bode o situa la cca. 2,8 U.A. de Soare. S-a constituit chiar o asociație științifică pentru găsirea planetei care lipsea. Și totuși, nu membrii asociației au făcut descoperirea mult râvnită, ci un savant care nici nu era preocupat de această problemă. La data de 1 ianuarie 1801, Giuseppe Piazzi, astronom din Sicilia, a observat, la 2,77 U.A. de Soare, un corp ceresc pe care l-a considerat a fi o cometă, botezind-o *Ceres*, după numele zeiței abundenței. Preocupat să-și asigure prioritatea descoperirii, el a scris mai multor observatoare din Europa, comunicându-le observația sa și dînd cîteva date necesare verificării ei și urmăririi mai departe a micului corp ceresc. Dar războaiele napoleoniene s-au pus de-a curmezișul intențiilor sale și au întîrziat săptămîni la rînd corespondența. Cînd scrisorile au ajuns la destinație, trecuse prea mult timp pentru ca micul corp ceresc să mai poată fi regăsit. Pe de altă parte, însuși Piazzi se îmbolnăvisese, neputînd să-și continue observațiile începute, care i-ar fi permis stabilirea definitivă a orbitei corpului ceresc.

Se părea că știința trecuse pe lingă un mare prilej de a soluționa enigma kepleriană, în afară de cazul că... s-ar fi găsit un matematician genial, care să determine orbita după datele puține indicate inițial de astronomul italian. Nodul gordian a fost tăiat de matematicianul Gauss. El a izbutit calcularea orbitei, care s-a dovedit însă a fi de tip *planetar* și nu *cometar*. Enigma kepleriană părea dezlegată, planeta căutată două veacuri în sfîrșit găsită, iar legea Titius-Bode din nou confirmată — e drept printr-un corp ceresc *neastept-*

tat de mic. Dar istoria științei are uneori desfășurări surprinzătoare. Cauți una și găsești cu totul alta, așa cum i s-a întâmplat chimistului Friederich Wöhler: urmărind să obțină din cianat de potasiu și sulfat de amoniu, substanțe anorganice, cianat de amoniu, o a treia substanță anorganică, el a obținut de fapt *uree*, o substanță organică. Astfel s-a dovedit, pentru întâia oară, în 1828, că între lumea anorganică și cea organică nu există o barieră de netrecut, că o substanță organică poate fi sintetizată din substanțe anorganice.

În ce privește descoperirea făcută la 2,8 U.A. de Soare, „lovitura de teatru” avea însă abia să urmeze după determinarea orbitei lui Ceres. Într-adevăr, la 28 martie 1802, tot între orbitele lui Marte și Jupiter, medicul și astronomul amator Olbers a descoperit încă o planetă. A denumit-o Pallas. Așadar — în locul planetei căutate își făcuseră apariția... două. Dar lucrurile nu s-au oprit aici: în 1807, la 1 martie, a fost rindul Junonei, tot în 1807 al Vestei (asteroid vizibil și cu ochiul liber de pe Pământ). Cînd, ulterior, astrofotografia a început să fie curent utilizată, a „plouat” cu noi descoperiri, în 1900 numărul planetelor mici cunoscute atîngînd 453, iar în 1923 ajungînd la 1000! Cel dintîi asteroid identificat prin astrofotografiere a fost Brucia — determinat în 1891, la Heidelberg, de către Maximilian Wolf. Wolf a descoperit în total 232 asteroizi. Denumirea de „asteroizi” rezultă din aspectul lor stelar în cîmpul telescopului, iar cea de planetoizi din faptul că cei mai mulți descriu orbite de forme similare planetelor și sînt lipsiți de lumină proprie. Descoperirea se face de obicei prin observarea deplasării lor rapide față de stele, ușor vizibilă pe plăcile fotografice. În locul planetei căutate, fuseseră descoperite, într-o zonă corespunzătoare prevederilor lui Kepler și ale legii Titius-Bode (lege empirică, cum arătam, a cărei semnificație din punctul de vedere al mecanicii cerești nu e încă clară), numeroase corpuri cerești, constituind o „familie” aparte. O confirmare, dar o confirmare neașteptată, care

îmbogătea însăși configurația sistemului planetar. Și surprizele nu aveau să se oprească aici...

2. Bilanț statistic și influențe

Să precizăm ritmul descoperirilor, concretizat într-un tabel:

ASTEROIZI CU ORBITA PRECIS CALCULATĂ

(după J. Siroky, T. de Vries și M.A.Combes)

1801	1	1900	453
1807	4	1925	1041
1847	6	1944	1560
1850	43	1959	1633
1868	100	1970	1749
1875	157	1972	1796
1891	320	1976	1998

Aceste cifre cuprind numai asteroizii sigur identificați, cu orbitele precis calculate, care sînt trecuți și în cataloage. Dintre aceștia, 1589 aveau în 1972 și un nume definitiv. De fapt, s-au observat cu mult mai mulți. Orbita unui număr apreciabil de asteroizi neajungînd însă să fie precis calculată, ei nu au fost „regăsiți“, ulterior, identificarea neputînd fi deci socotită definitivă. S-a stabilit de aceea un sistem. Cînd sînt descoperiți, asteroizii sînt denumiți mai întîi „obiectul lui X“ (X fiind, firește, numele astronomului care i-a zărit cel dintîi). Atunci cînd, pe baza unor observații repetate, orbita este calculată cu precizie, li se dă numele cu care rămîn în știință, de pildă „Amor 1221“. S-a produs și o „criză a nomenclaturii“. Obiceiul inițial, de a da asteroizilor numele unor zeițe din mitologie, a trebuit să fie abandonat; în urma „epuizării“ acestora din urmă, s-a recurs și la nume de eroi mitologici, apoi de personaje istorice,

literare, orașe, observatoare astronomice, termeni filozofici sau științifici, diferite vietăți. Planeta mică cu numărul 1381 poartă denumirea Danubia, Observatorul Astronomic din București aducând o contribuție importantă la calcularea orbitei sale.

O serie de specialiști s-au făcut celebri prin descoperirea a numeroși asteroizi catalogați: Reinmuth (246), Wölf (232), Palisa (121), Charlois (99), Väisälä (74), Neumin (65), Kopf (65), Jackson (62), Delporte (51), C.H.F. Peters (47), Metcalf (39), Boyer (38), Arend (31), Beliaevsky (28), Luther (24), van Gent (24), Watson (22), Kaiser (21) (cifrele sînt date după M.A. Combes, fiind publicate în 1973).

Orbita, chiar precis identificată, nu rămîne aceeași, mai ales la asteroizii mici și mijlocii, datorită acțiunii perturbatoare a unor planete mari, printre care Jupiter și Saturn. J. Siroky a propus o formulă pentru determinarea acțiunii perturbatoare a lui Jupiter. Există multe orbite asteroidale foarte instabile, modificate de influențele planetare. O consecință importantă este, după Groeneveld și Kuiper (1953), producerea de frecvente și violente ciocniri între aceste corpuri cerești. Influențele planetelor mari asupra asteroizilor au și un folos științific important. Prin măsurarea lor, se poate uneori determina masa exactă a corpurilor cerești perturbatoare.

Un fenomen încă insuficient explicat este acela al existenței unor „perechi” de asteroizi (I. Mascart, 1910). Caracteristicile „gemenilor” sînt aproape identice; de pildă la perechile de asteroizi Lobelia-Campanula, Ingrida-Azalia etc.

Numărul total al asteroizilor? Se poate cu greu răspunde la această întrebare, mai ales că multe planete mici, de dimensiuni foarte reduse, sînt inaccesibile mijloacelor de cercetare actuale. Evaluările variază între 40 000 și 140 000, dar s-ar putea ca numărul lor să fie și mai mare. Putem deci spune, în prezent, că cercetătorii au certitudinea că sistemul nostru planetar cuprinde zeci de mii, poate chiar sute de mii, de corpuri cerești pe care anterior le ignoraseră.

3. Unde? Între Marte și Jupiter!

Descoperirea asteroizilor a deschis un nou capitol în cercetarea Cosmosului. Sistemul nostru planetar a vădit încă o zonă de mare interes, între orbitele lui Marte și Jupiter. Acolo există, mai ales între 2,3 și 3 U.A. de Soare, ceea ce s-a denumit „centura asteroizilor”. Este un „briu” care e departe de a fi uniform ca distribuție, cunoscând *aglomerări* și *lacune* (totale sau parțiale). Cercetînd statistic 1560 de planete mici, J. Siroky a scos în evidență, într-o lucrare fundamentală, structura inegală a „briului”. Kirkwood a relevat, la rîndul său, legătura dintre lacune și influența mării planete Jupiter, fundamentînd-o matematic. Asteroizii „evită” de pildă intervalele care corespund cu $1/2$, $1/3$ și $1/4$ din durata revoluției lui Jupiter. Siroky a determinat existența a 18 *grupuri* de asteroizi, în care doar 27 dintre asteroizii cunoscuți nu au putut fi incluși.

Asteroizii se distribuie, în cadrul briului, în cîteva *zone inelare*. După M.S. Arend, există trei inele principale, situate după cum urmează:

- *Inelul I* — cu centrul la 2,37 U.A. de Soare. Include pe Vesta. Cuprinde un număr redus de asteroizi, cu un diametru mediu ridicat.
- *Inelul II* — cu centrul la 2,76 U.A. de Soare. Include pe Ceres (număr mai mare de componenți, dar de volum mai redus).
- *Inelul III* — cu centrul la 3,18 U.A. de Soare (număr și mai mare de asteroizi, dar de volum și mai redus).

D. Godillon situează inelele la: 2,17; 2,8; 2,98; 3,45 U.A. de Soare. „Zonele vide”, lacunele, sînt după părerea sa la: 2,50; 2,82; 2,96; 3,18 U.A. de Soare.

Studiul statistic al orbitelor asteroizilor cu ajutorul calculatoarelor electronice a pus în mod cert în evidență tendința acestora de asociere în familii și curenți.

O situație aparte o au o serie de asteroizi care sînt veritabili „prizonieri” ai planetei Jupiter. Este vorba de așa-ziii „troieni” — care se rotesc în jurul Soarelui pe *aceeași orbită* ca și cea mai mare dintre planete, unii precedînd-o și alții urmînd-o, un veritabil cortegiu cosmic (la o distanță unghiulară de 60°). Ahile, Hector, Priam, Eneea, Odisseu, Patrocle, Ulise, Diomede și ceilalți (de fapt *greci și troieni*) se rotesc cu aceeași viteză ca și Jupiter, păstrînd deci o distanță egală față de acesta. Întreg sistemul lor prezintă un echilibru stabil; dacă am presupune că un asteroid ar „evada” la un moment dat din poziția sa, el ar fi adus înapoi de forțele de atracție. Dacă legăm prin linii drepte grupul I și grupul II de troieni cu Jupiter, aceleași grupuri cu Soarele și totodată pe Jupiter cu Soarele — fiecare dintre aceste distanțe reprezintă 780.000 kilometri. Figura obținută e un romb cu laturile egale, alcătuit din două triunghiuri echilaterale.

Posibilitatea existenței în Univers a unor astfel de sisteme și mișcări echilibrate fusese încă de mult postulată de către Joseph Lagrange, în studiul ce a consacrat problemei, clasice în astronomie, a „celor trei corpuri”.

4. Mărimi, forme, culori, orbite

Dacă analizăm caracteristicile asteroizilor, constatăm că ordinea descoperirii lor nu a fost întîmplătoare. Astfel, cel dintîi planetoid descoperit — Ceres — este totodată și cel mai mare, diametrul său atîngînd, după evaluări foarte recente, 1003 km (1977). La suprafața lui Ceres, primii

astronauți ajunși vor avea cam a 30-a parte din greutatea lor terestră, vor fi de 5 ori mai ușori decît pe Lună. Pallas este al doilea asteroid în ordinea descoperirii, dar și ca mărime (diametrul apreciat la 608 km). Studiind diametrele asteroizilor descoperiți pînă în 1850, vedem că toți depășesc 100 km. Descoperirea de noi asteroizi continuă și va continua încă multă vreme, dar pare probabil că toți asteroizii cu un diametru de peste 100 km au fost de acum identificați. D. Godillon presupune chiar că nu mai au rămas de descoperit decît asteroizi de sub 20 km în diametru. —

Cum am mai arătat, planetoizii apar în câmpul telescopului ca niște puncte luminoase, cu aspect stelar. Doar cei mai voluminoși asteroizi au privilegiul de a se arăta ca niște discuri (asemenea planțetelor) și numai în instrumentele cele mai puternice.

Se cunosc, cum rezultă și din tabelul ce reproducem ceva mai departe, cîteva zeci de asteroizi cu diametrul de peste 100 km. După cît se pare, cei mai mulți au însă *între 20 km și 40 km*. După D. Godillon, știința consemnează:

- 30 asteroizi cu diametre între 100 și 250 km.
- 200 asteroizi cu diametre între 50 și 100 km.
- 700 asteroizi cu diametre între 20 și 50 km.

Determinările nu sînt încă precise și de aceea între aprecierile diferiților specialiști apar diferențe destul de mari. Se evaluează că masa totală a asteroizilor nu depășește 1/1000 din masa Pămîntului, din aceasta nu mai puțin de 10% revenindu-i lui Ceres.

Dacă forma rotundă, mai precis elipsoidală, a planetelor mari nu cunoaște nici o excepție, nu există aceeași unanimitate printre asteroizi. Cei mai mari sînt și ei de formă în general sferoidală, cei mici și mijlocii însă prezintă abateri considerabile de la acest model. Unii seamănă cu niște stînci

colțuroase (ca niște frinturi, dintr-un corp ceresc mai mare). Alții au o formă foarte alungită, aducind cu un castravete, cu un fus sau chiar cu un ac. Se mai consemnează multe alte forme. Și în ce privește strălucirea, deosebirile sînt considerabile. Evident, asteroizii, ca și planetele mari, nu au lumină proprie, dar ei reflectă, mai intens sau mai slab, radiația luminoasă a Soarelui, după culoarea suprafeței, care, depinde, la rîndul ei, de natura rocilor ce o alcătuiesc. Unul dintre cei mai „luminoși” asteroizi este Vesta, care reflectă 48% din lumina solară. Dacă s-ar afla o distanță de Terra similară Lunii, ne-ar apărea ca un corp ceresc incandescent, asemenea Soarelui. În orice caz, este singurul dintre planetoizi care ajunge uneori (cînd se află în opoziție cu Pămîntul), să fie, nu fără dificultate, vizibil cu ochiul liber.

Strălucirea orbitoare a Vestei este rară printre asteroizi. Majoritatea lor are o culoare cenușie, neutră (după unii există și asteroizi cu nuanțe albastrui). Fenomenele de oxidare, care dau adesea pe Pămînt culorii vii rocilor, nu se produc la suprafața planetelor mici. „Regina asteroizilor”, Ceres, reflectă doar 10% din lumina solară, iar Pallas, 13%. În general, asteroizii au, văzuți de pe Pămînt, o magnitudine inferioară stelelor de mărimea a 13-a.

Factorii cei mai importanți de care depinde strălucirea planetelor mici pe boltă sînt:

- volumul
- distanța față de Pămînt
- albedo-ul asteroidului
- forma asteroidului

Forme neregulate și colorații inegale ale suprafeței determină variații de strălucire.

O altă caracteristică a asteroizilor este lipsa atmosferei, masa lor redusă nepermițînd reținerea unui înveliș gazos.

De aci rezultă efecte multiple: aspectul colțuros al rocilor, lipsa apei, a formelor de viață. Astronauții viitorului vor coborî pe asteroizi într-o lume pustie, a tăcerii și nemiscării depline, a diferențelor enorme de temperatură între zona de noapte și cea de zi. Pe asteroizii mici, cu diametre de 2—3 kilometri, ei vor cîntări doar cîteva grame, astfel că o singură mișcare mai bruscă va risca să-i proiecteze în spațiul cosmic fără putință de întoarcere.

Mișcările asteroizilor au constituit obiectul unor studii amănunțite. Toți efectuează revoluții în jurul Soarelui, în intervale variind între 1 an și 14 ani. Durata medie a revoluției este de 4,5 ani, după unele calcule 98% din planetele mici avînd perioade de revoluție între 3,2 și 7 ani, ceea ce corespunde faptului că distanța medie față de Soare este de 2,9 U.A. Asteroizii se învîrtesc în jurul Soarelui în același sens ca și planetele mari, dar înclinația orbitei lor față de ecliptică este în general mai accentuată, iar excentricitatea orbitei mai mare. Înclinația medie a fost apreciată la 9,7°, trecînd însă, în unele cazuri, de 30° (Pallas). Betulia atinge chiar 52°. În ce privește viteza de revoluție, variabilă și ea, a fost calculată la 20 km/s (în medie).

Se consideră, în general, că asteroizii au și o mișcare de rotație în jurul propriiei axe, într-un interval de 2—20 ore. D.W. Dewhirst a constatat, la 90% din asteroizii pe care i-a studiat fotometric, variații de strălucire periodice, datorate, după el, rotației. Rotația variază la aceștia între 2h 52 min și 20h. Pentru cel mai mare asteroid, Ceres, s-a calculat provizoriu o durată a rotației de 9h 5 min. Astronomii din Tadjikistan au descoperit în 1979 un satelit, cu diametrul de 11 km, al asteroidului Cybel.

Prezentăm, în cele ce urmează, un tabel cuprinzînd caracteristicile principale ale unora dintre cei mai cunoscuți asteroizi, bazat pe o serie de lucrări recente de sinteză:

Numărul și denumirea asteroidului	Descoperitorul și anul desco- peririi	Dist. medie față de Soare (U.A.)	Excen- trici- tatea orbitei	Dia- me- trul (apre- ciat în km)	Îneli- nația orbitei față de eclip- tică (în grade)	Dur- ta re- volu- ției dera- (în ani)
1	2	3	4	5	6	7
1 Ceres	Piazzi, 1801	2,77	0,079	1003	10,6	4,6
2 Pallas	Olbers, 1802	2,77	0,235	608	34,8	4,6
3 Junona	Harding, 1804	2,67	0,256	203	13,0	4,3
4 Vesta	Olbers, 1807	2,36	0,088	538	7,1	3,6
5 Astraea	Hencke, 1845	2,58	0,190	180	5,3	4,1
6 Hebe	Hencke, 1847	2,42	0,204	170	14,8	3,7
7 Iris	Hind, 1847	2,38	0,231	150	5,5	3,6
8 Flora	Hind, 1847	2,20	0,157	124	5,9	3,2
9 Metis	Graham, 1848	2,39	0,124	217	5,6	3,6
10 Hygiea	De Gasparis, 1849	3,15	0,100	430	3,8	5,60
11 Parthenope	De Gasparis, 1850	2,45	0,101	120	4,6	3,8
12 Victoria	Hind, 1850	2,33	0,221	150	8,4	3,56
13 Egeria	De Gasparis, 1850	2,58	0,086	196	16,5	4,14
14 Irene	Hind, 1851	2,59	0,164	156	9,1	4,16
15 Eunomia	De Gasparis, 1851	2,64	0,187	233	11,8	4,30
16 Psyche	De Gasparis, 1852	2,92	0,139	322	3,1	4,99
18 Melpomene	Hind, 1852	2,30	0,218	132	10,1	3,48
19 Fortuna	Hind, 1852	2,44	0,158	160	1,5	3,82
20 Massalia	De Gasparis, 1852	2,41	0,144	180	0,7	3,74
22 Caliope	Hind, 1852	2,91	0,101	250	13,7	4,96
27 Euterpe	Hind, 1853	2,34	0,172	150	1,6	3,60
29 Amphitrite	Marth, 1854	2,55	0,074	182	7,1	4,08
30 Urania	Hind, 1854	2,36	0,127	90	2,1	3,64
39 Laetitia	Chacornac, 1856	2,77	0,115	256	10,4	4,60
40 Harmonia	Goldschmidt, 1856	2,27	0,046	90	4,3	3,41
44 Nysa	Goldschmidt, 1857	2,42	0,151	100	3,7	3,77

1	2	3	4	5	6	7
51 Nemausa	Laurent, 1858	2,37	0,066	150	10,0	3,64
63 Ausonia	De Gasparis, 1861	2,40	0,125	147	5,8	3,70
192 Nausikaa	Palisa, 1879	2,40	0,246	192	6,9	3,72
324 Bamberga	Palisa, 1892	2,68	0,339	196	11,3	4,40
349 Dem- bowska	Charbis, 1892	2,93	0,089	256	8,3	5,00
433 Eros	Witt, 1898	1,46	0,223	23	10,8	1,76
944 Hidalgo	Baade, 1920	5,79	0,655	40	42,5	13,96
1221 Amor	Delporte, 1932	1,92	0,436	2(?)	11,9	2,67
1566 Icar	Baade, 1949	1,08	0,827	0,8	23	1,12
1685 Toro		1,37	0,435	2,0	9,37	1,60
— Apolo	Reinmuth, 1932	1,49	0,566	2(?)	6,4	1,81
— Adonis	Delporte, 1936	1,97	0,779	0,8(?)	1,5	2,76
— Hermes	Reinmuth, 1937	1,29	0,475	0,7(?)	4,7	1,47

5. Cîteva traiectorii neobişnuite

Spre sfîrşitul secolului al XIX-lea, localizarea planetelor mici părea clarificată: centura asteroizilor se profilase ca fiind unicul lor sălaş cosmic. Dar corpurile cereşti care intraseră atît de neaşteptat în ştiinţă în pragul veacului, mai rezervau astronomilor noi surprize.

Anul 1898. Încă un asteroid se adaugă la lista celor cunoscuţi şi este numit Eros. Numai că el prezintă o caracteristică cu totul aparte; Eros părăseşte briul „clasic“ al asteroizilor, se apropie de Soare mai mult decît orbita lui Marte, ajunge la o distanţă de 22 milioane km de Pămînt. O excepţie? Un asteroid „rătăcit“? Aşa s-a crezut multă vreme, dar în 1933 a fost descoperit Amor, care ajunge la numai 2 milioane km de planeta noastră şi în acelaşi an astronomii l-au înscris în cataloage pe Apolo, care se apropie pînă la 1 milioane km de globul pămîntesc. Aceste recorduri de apropiere de Terra au fost ulterior bătute de Adonis în 1936 (500 000 km) şi Hermes (600 000 km). După Cunningham,

Hermes se poate apropia pînă la 354 000 km de Pămînt, adică în interiorul orbitei lunare. Printre planetele de acest tip se mai numără Geographos (descoperit în anul 1951) și Toro (descoperit în anul 1948). Acesta din urmă are o orbită excepțională printre cele cunoscute în Univers, la care forma eliptică se combină cu o serie de bucle (reale și nu aparente) așa cum se vede din fig. 30.

Asemenea corpuri cerești devin deci, vremelnic, „vizitatori” ai Pămîntului, unii ajungînd pînă la distanțe comparabile cu acelea ale Lunii, sensibil mai apropiați de noi decît Marte și Venus. Ca și meteoriții, unii dintre aceștia cad pe Pămînt. După cîte se pare, corpul ceresc care a format marele crater din Arizona (S.U.A.), ca și bolidul de la Sikhotevinsk (U.R.S.S.), au fost mici asteroizi, astronomul sovietic V.G. Fesenkov calculînd pentru cel din urmă chiar orbita sa ipotetică și determinîndu-i aproximativ masa. Un asteroid care a făcut să curgă multă cerneală este Icar, descoperit de W. Baade în 1949. În anul 1968, acesta s-a apropiat pînă la 6 milioane km de Terra. Orbita lui îl duce la periheliu mai aproape de Soare decît Mercur (0,18 U.A. — sub 30 milioane km) și la afeliu mai departe de Soare decît Marte (1,97 U.A.). Excentricitatea sa atinge 0,827, cea mai mare cunoscută în lumea asteroizilor. Nu este încă clar ce se întîmplă cu planeta în preajma Soarelui. Asemenea legendărilor Icar (de aci și numele), suprafața planetei se „aprind” parcă, unele substanțe devenind incandescente și începînd să lumineze intens, din masa sa degajîndu-se o cantitate apreciabilă de gaze.

Acești asteroizi nu par a fi numeroși — pînă acum s-a găsit doar cîțiva —, dar caracteristicile lor sînt cu totul aparte:

1) Orbitele eliptice sînt de o mare excentricitate, apropiindu-se dar și îndepărtîndu-se considerabil de Soare, similar cometelor. Și tot asemenea acestora, planetele de acest tip au orbite foarte instabile. Astfel, apropierea

de Pământ duce la modificări ale căilor lor cosmice, îngreunind previziunile pozițiilor lor viitoare.

2) Dimensiunile sînt în general foarte reduse, de la unul la cîțiva kilometri în diametru (diametrul lui Adonis este apreciat la 800 m, al lui Icar tot la 800 m, al lui Toro la 2 km).

„Micii călători de cursă lungă“ au ajuns poate la neobișnuitele lor orbite datorită unor ciocniri interasteroidale, dacă nu a influenței perturbatoare a planetelor mari sau chiar a unei constituirii din curenți meteorici sau comete. Ei sînt asteroizi de un tip special, care nu respectă orbitele obișnuite (dintre Marte și Jupiter) ale acestor corpuri cerești. În orice caz, o fantezie bogată ar putea compara căile lor cu veritabile „croaziere“ prin sistemul nostru solar. Hidalgo, de pildă (denumit astfel după Hidalgo y Castilia, conducător al luptelor revoluționare din Mexic, de la începutul secolului XIX), are o excentricitate a orbitei de 0,65; ajunge la afeliu pînă dincolo de orbita lui Saturn, iar la periheliu în preajma orbitei lui Marte (are și o mare înclinație a orbitei față de ecliptică: $42,5^\circ$). Hermes se apropie de Soare mai mult decît Venus și se îndepărtează mai mult decît Marte. Sînt însă orbite foarte nestabile: asteroizii Apollo, Adonis și Hermes nici nu au mai fost regăsiți și ne putem întreba unde rătăcesc oare acum sau dacă nu au răzut cîmva pe vreo planetă mare.

În ce privește durata revoluției, ea variază între 1,12 ani la Icar și 13,96 ani la Hidalgo.

Dintre asteroizii amintiți, unul dintre cei mai curioși este chiar primul descoperit: Eros. La intervale scurte de timp, strălucirea lui variază considerabil, atingînd în numai cîteva ore mai multe maxime și minime. Explicații propuse: 1) asteroidul ar avea o formă de „țigară de foi“, prezentînd, la urma rotirii în jurul propriei axe, Pămîntului, ba o suprafață mai mare, ba una mai mică; raportul presupus între cea mare și axa mică a planetei fiind de 4 : 1; 2) Eros ar fi format din două corpuri îngemănate, un fel de astru dublu,

a cărui rotire ar produce efectul respectiv; 3) suprafața asteroidului ar avea zone cu un albedo foarte diferit; 4) construcția rețelei cristaline ar modifica simțitor puterea de reflectare, după unghiul de incidență rezultat.

„Familia” asteroizilor cu orbite de mare excentricitate face servicii importante științei. Trecind de pildă unele foarte aproape de Mercur, Icar a fost folosit la determinarea mai precisă a masei acestei planete. Viteza foarte mare a unora dintre ei a servit la verificarea unor previziuni bazate pe teoria relativității. În 1930—1931, când Eros a trecut la 17 milioane km de Terra, a putut fi determinată o paralaxă destul de precisă a Soarelui, ceea ce a dus la calcularea distanței Soare-Pământ (U.A.) la 149 500 000 km. Ulterior, tehnica radar a dus la precizarea distanței respective la 149 600 000 km (S.U.A., Anglia și U.R.S.S.).

Ideea amplasării unei expediții cosmice în scopul „vizitării” sistemului planetar pe un astfel de asteroid mai apare încă celor mai mulți de domeniul romanelor de anticipație. Cu toate acestea, cînd proiectul va fi realizabil, el se va dovedi foarte avantajos pentru explorarea Cosmosului apropiat. Constantin Eduardovici Țiolkovski a preconizat utilizarea acestor corpuri cerești ca „vehicule interplanetare”, rolul rachetei reducîndu-se doar la transportarea astronauților pe traseele Terra-asteroid și — după încheierea expediției — asteroid-Terra, utilizîndu-se momentele de apropiere maximă a planetei mici de Pământ. Vehiculul-rachetă va avea deci de străbătut doar cîteva milioane de kilometri, marea călătorie, de sute de milioane de kilometri, fiind străbătută de vehiculul-asteroid. Astronomul sovietic A. Vorontov-Veliaminov a reluat această idee, analizînd în detaliu perspectivele oferite de o expediție cosmică instalată pe asteroidul Hermes. Bineînțeles că nu orice orbită a unui asteroid ar fi avantajoasă, ci numai o orbită care să se apropie considerabil de Terra și totodată să treacă aproape nu numai de orbitele, ci chiar de planetele vizate de cosmonauți. Într-un articol publicat în 1959 în „Journal of Geophysical

research", Fred L. Whipple s-a asociat ideii, subliniindu-i gloasele, dar a atras atenția că deplasarea spre asteroizi implică realizarea unor viteze foarte mari.

Desigur, era cosmică mai deschide și alte perspective legate de asteroizi, de pildă captarea unor astfel de corpuri eresti și prefacerea lor în sateliți naturali ai Pământului (deci în baze ale unor excelente stații orbitale), explorarea stronautică a „briului asteroizilor“ în vederea studierii lor. Se remarcă că navele cosmice americane Pioneer și Voyager au trecut, în 1973—1979, fără dificultăți prin centura asteroizilor (spre Jupiter și Saturn), deși unii specialiști prevăduseră coliziuni iminente.

6. Faeton — legendă și ipoteză

Originea sistemului nostru planetar este încă destul de nebuloasă. Același lucru se poate spune despre originea asteroizilor, ca elemente constitutive ale acestui sistem. Aceasta înseamnă, desigur, că nu au fost formulate ipoteze și că ele nu par verosimile. Certitudini nu avem însă.

Să ne întoarcem deci la marele interval remarcat încă de Kepler între orbitele lui Marte și Jupiter. După cum am văzut, în această zonă se rotesc aproape toți asteroizii. Dar nu este sigur că acest „pietriș cosmic“ — dacă comparăm dimensiunile planetoizilor cu acelea ale planetelor mari — era aflat acolo încă din faza formării sistemului planetar, cum citeva miliarde de ani. S-a presupus deci că, așa cum vedea Kepler, cum prevedea legea Titius-Bode, cum indică regularitatea cu care sînt înșiruite planetele, *aici s-ar fi aflat o planetă*. Diametrul acesteia a și fost apreciat la 2500 km (după alții, sensibil mai mic). Explozia ei, survenită din cauze necunoscute, ar fi dus la formarea asteroizilor actuali. Planeta-mamă ipotetică a primit și un nume, evident mitologic, conform tradiției astronomice: Faeton. După cum se știe, o legendă a Greciei antice îi atribuia lui Faeton

o aventură nesăbuită. Fiu al lui Helios, Soarele, el a furat într-o bună zi carul tatălui său și cei patru arma de foc, care îl trăgeau în cursa diurnă. Neștiind să stea nească divinii nărăvași, aceștia au luat-o razna, astfel cerul și Pământul s-au aprins. Atunci Terra a cerut lui ajutor, iar acesta a abătut asupra lui Faeton trăsnetul salvind astfel omenirea, dar distrugându-l pe temerar. Această ipoteză despre obirșia asteroizilor nu este însă singură. Iată ipoteze:

a) asteroizii actuali sînt frînturi ale citorva corpurilor rești de dimensiunile planetoizilor mari, formate odată cu planetele mari și ulterior sfărîmate;

b) asteroizii reprezintă; fie *condensări inițiale* (condensări primare formării planetelor mari) și atunci sînt sferici și se numesc *asteroizi-frînturi*, de forme neregulate, provenind din ciclonii rîle celor dintii (Groeneveld și Kuiper). Cu prilejul colocviului Uniunii Astronomice Internaționale „Studiul fizic al planetelor mici“, care a avut loc la Tucson (S.U.A.) la 8-10 martie, 1971, G.Arrhenius s-a pronunțat ferm pe ideea că asteroizii cei mai strălucitori s-au format odată cu constituirea sistemului planetar, dintr-o nebuloasă primară.

Să reținem că ipoteza coliziunilor dintre corpurile componente ale sistemului nostru planetar (asteroizi, meteoriți și comete) este utilizată astăzi curent pentru explicarea unor fenomene în astronomia contemporană.

I. COMETELE

1. De la închipuire la adevăr

În anul 1527, pe cer se ivise o cometă. Iată cum o descria un vestit savant, Abroise Paré, care în știința sa — chirurgia — se dovedise un om lucid și un spirit de avangardă. „Aspectul ei era atît de groaznic, încă a băgat spaimă

aflete: unii mureau de frică, iar alții cădeau la pat. Era
un astru de o lungime neobișnuită, avind o culoare sîngerie.
La baza lui se zărea o mină care strîngea o lungă spadă de
oc, cu trei stele în vîrf. Pe ambele părți ale acestui astru
împăimîntător, se puteau vedea săbii, cuțite și pumnale
însîngerate, iar printre ele se iveau chipuri de oameni schi-
monosite de durere, avind ochii holbați și părul vilvoi.
Și pentru a concretiza această imagine, Paré a și desenat
astrul într-o schiță pe care o privim astăzi ca pe un adevărat
zoster. Explicația? A. Paré a fost victima unei psihoze
colective, a unei halucinații, datorită tipicului fenomen
cercesc neobișnuit pe care îl reprezintă o cometă. Cometele
au generat de-a lungul istoriei „epidemii” de spaimă, au
prilejuit „prevestiri” funeste ș.a.m.d. Cronicarul Miron
Costin le socotește printre „semnele ceriului”, care anunță
mari răutăți” și leagă de ele chiar „stingerea” unor case
domnești. În secolul al XVII-lea s-a găsit un autor care a
clasificat” cometele după tipurile de calamități pe care
presupunea că le aduc: foamete, boli, războaie, inundații etc.
Toate acestea erau stimulate de raritatea și caracterul spec-
taculos al fenomenului (e vorba de cometele vizibile cu
ochiul liber). Să amintim și faptul că vechile scrieri chi-
nezești menționează comete din secolul 23 î.e.n.

Au existat minți care au văzut încă din antichitate lim-
pede, ca filozoful latin Seneca. El scria că o cometă „ocupă
locul ei propriu printre corpurile cerești; ea își descrie dru-
mul și nu se stinge, ci doar se îndepărtează”.

Printre erorile cercetătorilor mai vechi ai cometelor,
cea mai importantă a fost aceea care considera că sînt fe-
nomene luminoase petrecute în interiorul atmosferei Pămîn-
tului (Metrodor, Strabon, Aristotel); timp de două milenii,
aceasta a fost părerea predominantă. Brahé a fost, cum am
mai arătat, cel dintîi care a infirmat definitiv o asemenea
presupunere, demonstrînd că un astfel de astru, ivit în 1577,
se afla cu mult mai departe de Pămînt decît Luna. A urmat
o altă demonstrație de răsărit, care a intrat în istoria științei.

Ocupindu-se asiduu de studiul orbitelor cometare, Edmunda Halley a constatat că orbita cometei studiate de Kepler în 1607 prezenta mari similitudini cu orbitale cometelor din 1531 și 1682. A conchis că e vorba de o *aceeași cometă* și a prevăzut că va deveni din nou vizibilă în 1758. Halley a murit în 1742, dar previziunea sa, una dintre cele mai strălucite din istoria cunoașterii, s-a confirmat și cometa a primit numele său. De atunci, ea a mai revenit în 1835 și 1910, fiind din nou așteptată în 1986. S-a constatat că și unele comete din vechime fuseseră de fapt tot cometa Halley. Astfel a fost descoperit și demonstrat *caracterul periodic* al cometelor.

Anual se descoperă, în medie, un număr de 10 comete. Un catalog de orbite cometare publicat de Uniunea Astronomică Internațională, sub conducerea lui B.G. Marsden (1972), cuprinde elementele orbitale a 924 apariții de comete observate până în februarie 1972*, dintre care 324 se toarcerci de comete periodice. Catalogul cuprinde 600 orbite distincte de comete. Până la sfârșitul anului 1972, au fost descoperite 2028 comete. Iată cometele pentru care au fost observate cel puțin zece apariții (în paranteză numărul aparițiilor înregistrate):

Encke (49)
Halley (27)
Pons-Winnecke (17)
Faye (16)
Tempel 2 (15)
Grigg-Skjellerup (12)
D'Arrest (12)
Wolf (11)
Kopff (10)
Brooks 2 (10)

Și un român, Victor Daimaca, este descoperitorul a două comete (1943).

* În total, din antichitate, s-au observat peste 1600 comete.

2. Orbitele cometare

„Pe cer sînt tot atîtea comete cîtî peşti sînt în ocean“, scrisese Kepler, cu genială intuiție. Sistemul nostru planetar cuprinde într-adevăr un uriaș nor de comete, dintre care unele ajung pare-se pînă la o depărtare de 150 000 U.A. de Soare (J.H. Oort). Dacă am reduce diametrul orbitei lui Pluton — 12 miliarde km — la numai 1 m, diametrul norului de comete ar fi de 2 km! Numărul cometelor este apreciat la milioane, după unii chiar la miliarde de membri, dar masa lor totală nu pare a depăși o zecime din masa planetei noastre. Tot Oort presupune că inițial cometele alcătuiau un nor care se rotea la 0,5—1,5 ani-lumină de Soare (30 000—100 000 U.A.), pe orbite cvasicirculare. Ulterior, o mare parte dintre aceste corpuri cerești au fost atrase de Soare pe orbite eliptice, altele pierzîndu-se în spațiul intersideral. Există însă și alte ipoteze asupra originii cometelor (S.V. Orlov le consideră rezultantele unor coliziuni între asteroizi sau meteoriți mari).

Orbitele cometare fac parte din clasa conicelor. Dintre acestea, orbitele eliptice, cele mai numeroase, se desfășoară în sistemul nostru solar. Cometele care descriu parabole sau hiperbole par a veni din regiuni necunoscute nouă și a dispărea pentru totdeauna; ele au de obicei viteze foarte mari, care le-ar permite să învingă atracția solară. Nu există însă un acord al specialiștilor pentru acest punct de vedere. Iată ce scrie de pildă Fred L. Whipple, într-o lucrare de sinteză: „Putem conchide neîndoielnic că în mod practic toate cometele aparțin sistemului nostru solar. Nu s-a adus nici o dovadă convingătoare în ce privește eventuale comete care să fie vizitatori din afara sa“. După el, orbitele parabolice sau hiperbolice sînt fie rezultatul unor imprecizii de calcul, fie a unor perturbări datorate planetelor mari.

Dintre cometele cu orbite eliptice, marea majoritate are o excentricitate foarte mare și se depărtează considerabil de Soare, mult dincolo de Pluton. Cometa Donati, observată

În 1858, de o remarcabilă strălucire, are o perioadă apreciată de 2 000 de ani. O perioadă de 8 740 ani a fost calculată pentru cometa Daniel. O serie de comete au perioade relativ scurte, cea minimă cunoscută pînă acum fiind de 2,3 ani (Wilson-Carrington, 1949 d). Iată caracteristicile citorva comete cu perioadă scurtă:

Denumirea	Perioada de revol.	Înclinația față de ecliptică (grade)		Afelul și periheliul (U.A.)
Encke	3,3	12,4	4,09;	0,34
Neuimin 2 1927 I	5,43	10,6	4,84;	1,34
Pons-Winnecke, 1945 a	6,16	21,7	5,56;	1,16
Biela, 1852 III	6,62	12,6	6,19;	0,86
Schwassmann-Wachmann 1, 1925 II	16,15	9,5	7,25;	5,52
Oterma 3, 1942 VII	7,89	4,0	4,53;	3,39
Faye, 1947 f	7,44	10,5	5,96;	1,66
Finlay, 1926 V	6,84	3,4	6,15;	1,06
Tempel, II, 1873	5,27	12,5	4,68;	1,37
Giacobini-Zinner, 1900	6,42	30,9	5,97;	0,94
Whipple, 1933	7,42	10,3	5,16;	2,45
Grigg-Skjellerup, 1902	4,90	17,6	4,88;	0,86

Pentru cometele cu orbite de mare excentricitate și perioadă lungă de revoluție, este valabilă afirmația că ele devin vizibile numai în apropierea Soarelui, cînd își sporesc considerabil volumul, prin evaporarea materiilor volatile.

3. Structura cometelor

Desigur că certitudini despre structura și compoziția cometelor, despre procesele care se produc în aceste curioase corpuri cerești, vom avea abia atunci cînd astronautica va înfăptui vizitarea lor, la sfîrșitul acestui veac sau la începutul următorului.

mul celui viitor. Cu toate acestea, unele date sînt de pe acum binecunoscute, după cum altele sînt încă controversate.

Un fapt cert este de pildă contrastul dintre gigantismul dimensional al unor comete vizibile cu ochiul liber și masa lor infimă, comparabilă cu aceea a unui asteroid de mici dimensiuni. Astfel, cometa Halley a avut în 1910 o coadă de 110 milioane kilometri, iar marea cometă din 1843 a stabilit chiar un record care de atunci nu a mai fost depășit: coada ei a atins 320 milioane kilometri, de peste două ori distanța Soare-Pămînt. Coama unei alte comete a fost apreciată la 1 800 000 km diametru, superioară diametrului solar. Dar tot atît de adevărat este că substanța coamei cometelor e de 8 000—10 000 miliarde ori mai rară decît atmosfera terestră la nivelul mării.

Trei elemente principale alcătuiesc cometa:

— *Nucleul*, cu un aspect stelar, de mic punct luminos. Este partea cea mai densă a cometei, singura solidă, dar cu un diametru de numai cîteva sute de metri pînă la maximum 40—50 km. Este alcătuit, așa cum a arătat începînd din 1950 astronomul Fred L. Whipple, răsturnînd concepțiile anterioare (pe baza unui model conceput de el, astăzi destul de larg acceptat) dintr-un conglomerat de blocuri înghețate (apă, amoniac, metan, bioxid de carbon etc.), cărora li se adaugă alte substanțe solide nevolatile, sub formă de particule meteorice.

— În jurul nucleului, se desfășoară *coama*, care împreună cu acesta formează *capul*. Coama are un aspect nebulos și este atît de rarefiată, încît în spatele ei se zăresc stelele. Este alcătuită din gaze (de pildă cianogen și carbon biatomic) care reprezintă, în concepția modernă, o plasmă cu un grad înalt de ionizare; este probabil că primii cosmonauți care vor străbate coama vor constata o erupție de gaze și pulberi, provenind din nucleu, precum și numeroși compuși nestabili din punct de vedere chimic.

— Cea mai vastă și totodată cea mai rarefiată este *coada* cometei, alcătuită din gaze, ca oxid de carbon și azot, mo-

lecul neutre și ionizate, uneori și pulberi. Ea este îndreptată, aproape totdeauna, în direcția opusă Soarelui, urmînd deci capul cînd cometa se apropie de centrul sistemului planetar și precedîndu-l cînd se depărtează. Acest fenomen, remarcat încă de unii autori antici, se datorează Soarelui, dar nu atît presiunii luminii solare, cum credea F.A. Bredihin, ci mai ales presiunii vîntului solar (L. Biermann, I.S. Astapovici, F.L. Whipple ș.a.), așa cum s-a arătat în ultimele decenii.

Strălucirea cometelor în apropierea Soarelui este „împrumutată” de la acesta; e vorba în parte de reflectarea luminii solare și în parte de fluorescența gazelor cometare. Se pare că în comete se produc și procese electrice, încă neclarificate. Forma cometelor este foarte variabilă. Există comete fără coadă (pete cețoase) sau cu coadă scurtă, cu coadă dreaptă sau curbată, cu mai multe cozi etc., ba și unele la care în locul cozii există un sistem de halouri luminoase avînd centrul în nucleu. Principalele două tipuri de cozi cometare sînt: I — cozi desfășurate exact în direcția opusă Soarelui și II — cozi care se curbează, în aceeași direcție, în planul orbitei cometare (Whipple). Există chiar și cozi „anomale”, îndreptate spre Soare, neexplicate suficient, dar chiar și la cometele „clasice”, cu coadă larg desfășurată, forma nu este aceeași de-a lungul întregii orbite parcurse. O substanțială expunere a teoriei formelor cometare se găsește în lucrarea lui Victor Nadolschi *Asteroizi și comete*, apărută în 1971.

Pe cea mai mare parte a traseului lor, cometele nu sînt decît un corp ceresc solid, alcătuit din blocuri înghețate și pietre. Abia cînd se apropie la 2—3 U.A. de Soare, se dezvoltă coama și coada, prin sublimarea gazelor înghețate din nucleu și erupția materiei de tip meteoric, o degajare care însă se soldează, de fiecare dată, cu pierderi mari de substanță. Observații efectuate cu ajutorul navelor cosmice

am arătat că unele comete sînt înconjurate de vaști nori de hidrogen.

4. „Nimicuri vizibile“

Cînd specialiștii și-au dat seama de caracterul „diafan“ al acestor corpuri cerești, cu masă infimă dar volume adesea priașe, în cărțile de popularizare ele au fost adesea denumite „nimicuri vizibile“. Pe drept cuvînt: dacă am lua din coamă o cantitate de gaze și pulberi cuprinsă într-o sferă cu diametrul de 10 km și am îngrămădi-o într-un glob cu diametrul de 5 metri, nu ar ajunge nici măcar la densitatea apei. Consecințele sînt ușor de prevăzut. Pierzînd masă — cum arătam — la fiecare apropiere de Soare, cometele își epuizează pînă la urmă rezervele de gaze și se sfărîmă (total sau parțial), dînd naștere curenților meteorici. După Whipple, existența cometelor cu perioadă scurtă este de 3 000—60 000 de ani, destul de puțin dacă le comparăm cu miliardele de ani ale vieții planetelor sau Lunii. După S.V. Orlov, cometa Halley (cu perioadă lungă) mai are în față circa 900 000 ani (125 revoluții), după care din ea nu va mai rămîne decît un soi de asteroid sau un roi meteoric (odată cu dezagregarea nucleului), care, treptat, răspîndindu-și materia pe întreaga orbită, se va transforma într-un veritabil curent meteoric.

Cometele sînt puternic influențate în evoluția lor de către planete, mai ales de către cele mari. În această privință, s-a scris o literatură foarte bogată. Astfel, după cum arată H.J. Kazimirtșak-Polonskaya, în 1875 Jupiter a cauzat reducerea periheliului cometei Wolf I de la 2,7 U.A. la 1,6 U.A. Sînt comete care aparțin „familiei lui Saturn“ sau „familiei lui Jupiter“ sau chiar unele care au trecut din prima familie în cea de-a doua. Tot datorită masei lor neînsemnate, influența unei comete asupra Pămîntului — mult temută altădată — este practic nulă. Astfel, în

1770 o cometă descoperită de astronomul A.I. Lexel a trecut la mai puțin de 3 milioane kilometri de Pământ. Celebru savant Laplace calculase dinainte că dacă masa cometei ar fi egală cu cea a Terrei, durata anului terestru va crește cu 2 ore și 48 minute, datorită unei modificări corespunzătoare a orbitei. După trecerea cometei, s-a observat însă că globul terestru nu suferise nici o perturbare în mersul său. În 1910, Pământul a trecut prin coada cometei Halley fără să survină nimic ieșit din comun (gazele toxice, foarte rarefiate, din cozile cometare, nu pot pătrunde în atmosferă cu mult mai densă, a Pământului).

Cometele mari și strălucitoare sînt foarte rare (în medie apare una la zece ani), iar în zilele noastre trecem printr-o perioadă mai săracă în astfel de apariții. Se observă în schimb destul de multe „comete telescopice“, adică vizibile numai cu aparate optice: în anul 1970, s-au observat de pildă 45 comete, cea mai ridicată cifră a secolului al XX-lea (cea mai coborîtă: 1 — în 1938). Anul 1973 a adus în această privință observatorilor o surpriză: este vorba de cometa descoperită la 7 martie 1973 de Lubos Kohoutek, la Observatorul din Hamburg „cometa Kohoutek, 1973 f“. Trecerea prin periheliu a acestui astru l-a arătat de o structură predominant prăfoasă.

J. MEDIUL INTERPLANETAR ȘI VÎNTUL SOLAR

Nu întîmplător sondele cosmice care parcurg astăzi spațiul interplanetar sînt inzestrate cu o mare varietate de aparate destinate înregistrării diferitelor tipuri de pulberi, atomi de gaze și particule pe care le întîlnesc. În mediul interplanetar, materia este de o extremă rarefiere — vidu absolut nu există însă nicăieri. Dealtfel, acest lucru era cunoscut specialiștilor încă din vremea în care nici o navă cosmică nu părăsise Pământul, acum însă se cristalizează

treptat o nouă concepție asupra materiei interplanetare.* O primă dovadă o reprezintă încă de mult conul argintiu, uneori mai luminos decît Calea Laptelui, care se vede pe cer, în nopțile senine, seara și dimineața înainte de răsăritul Soarelui, mai ales la tropice. Acesta este probabil un gigantic disc de pulbere cosmică care înconjoară, ca o ceață, Soarele, în planul eclipticii, fiind luminat de astru. Înainte de a i se cunoaște originea, a fost denumit „lumina zodiacală”. Despre dimensiunile alcătuitoare nu se știe nimic precis, dar s-a calculat că lumina respectivă ar putea fi produsă de particule de sub 1 mm, distanțate unele de altele la 7—8-km. O lumină mai slabă care apare pe boltă, în zona opusă Soarelui, este așa-zisul „Gegenschein”, asupra căruia s-au făcut destul de multe cercetări și s-au emis numeroase ipoteze. După japonezul Hirōyoshi Tanabe, este vorba de lumină solară reflectată de pulberi cosmice.

Dar pulberea cosmică nu se află numai în preajma Soarelui. Fluxuri de praf cosmic se rotesc în jurul său la distanțe destul de mari (asemenea roiurilor de corpuri meteorice) și uneori Pămîntul trece prin ele sau captează o parte a lor. Circa 100—1 000 tone din această materie ajunge, după cum se evaluează, zilnic pe Terra. Așa se explică și relațiile din cronici care vorbesc despre „întunecări în plină zi”, la date cînd nu s-au consemnat eclipse de Soare. Un asemenea nor de pulbere s-a abătut în 1755 asupra orașului Locarno din Elveția, un altul a dat naștere unui „cer tulbure” în 1892 în mai multe țări din Europa de Nord, iar mai recent, în 1938, Soarele s-a întunecat, acoperit de un zăbranic de praf, la Igarca, în nordul Siberiei. Și poate că, în călătoriile lor, astronauții viitorului se vor întîlni și ei cu asemenea „zone de pulberi”, care le vor întuneca pe neașteptate hublourile. Dealtfel, de pe acum s-au întreprins de către son-

* Vom reveni asupra problemei cînd vom trata despre materia difuză din Univers.

dele cosmice măsurători asupra intensității acestui „praf cosmic“, absorbit în mod constant de Soare, dar produs mereu din nou de destrămarea cometelor, coliziuni asteroidale etc.

Praful cosmic este departe de a fi singurul ocupant răzleț al mediului interplanetar. În primul rând, în acest spațiu se mai află cristale (gaz carbonic sau gheață), atomi de gaze, cimpuri gravitaționale, cimpuri magnetice și cimpuri electrostatice; pe de altă parte, el e traversat de radiația electromagnetică și corpusculară, provenită în primul rând de la Soare. Este vorba de o materie de o extremă diversitate și eterogenitate. „Vidul interplanetar“ nu este deci decit aparent. Există chiar și vizitatori din afara sistemului nostru planetar; spațiul este invadat de așa-zisele „raze cosmice“, nuclee ale diferiților atomi, cu viteze enorme, provenind din Galaxie*.

În ce privește materia cu originea în sistemul planetar, pe lângă pulberea cosmică și micrometeoriti, despre care am mai pomenit, un rol important îl joacă norii și fluxurile corpusculare care sînt emise de Soare, alcătuite din atomi ionizați și mai ales din nuclee de hidrogen sau protoni. La fiecare 20 de protoni, se găsește în medie un atom de heliu dublu ionizat. Pe lângă ioni, curentul cuprinde de asemenea electroni, alcătuiind împreună o plasmă solară activă. Acest flux, care se scurge radial și neînterupt din coroana solară, alcătuiește ceea ce s-a numit în ultima vreme *vîntul solar*, o noțiune, e drept, încă insuficient clarificată. Desigur că astronautica l-a studiat cu o deosebită atenție, aducînd dovada directă a existenței unui flux de plasmă provenind de la Soare. Acesta produce, între altele, încălzirea atmosferei înalte și a ionosferei (independent de emisiunea ultravioletă a Soarelui), aurore polare spectaculoase, de felul celor fotografiate în 1973 de la bordul laboratorului „Skylab“.

* Un număr redus de ioni, care se deplasează cu viteze de zeci de mii de kilometri/secundă, alcătuiesc *componenta solară* a razelor cosmice.

În apropierea orbitei terestre, densitatea vântului solar a fost determinată la $5-8$ particule pe cm^3 , măsurându-se viteze obișnuite de $300-600$ km/s. Ca urmare a interacțiunii vântului solar cu câmpurile magnetice planetare, se formează magnetosfere (Pământ, Mercur, Jupiter).

Încă din anul 1963, stația automată sovietică Marte 1 a întâlnit fluxuri de particule chiar la o distanță considerabilă de orbita terestră. În ce privește racheta americană Mariner 2, aceasta a studiat, în drum spre Venus, vântul solar cu ajutorul unui analizor electrostatic și al unui electrometru de mare sensibilitate. În cursul celor peste o sută de zile ale călătoriei, s-a determinat aici în medie o particulă pe 1 cm^3 , constatându-se viteze de $300-800$ km/s. Determinări similare s-au făcut și de către sondele Vela 3 și Explorer 34, de către aparatajele instalate anume de expedițiile astronautice Apollo pe Lună etc. Sateliții artificiali și sonda cosmică arată că Soarele liniștit aruncă în spațiu, în toate direcțiile, cam 4 milioane tone de materie pe secundă, sub formă de radiație electromagnetică și corpusculară. Stația interplanetară Helios 1 (R.F.G.) a măsurat în 1975 o viteză a vântului solar de 800 km/s.

Erupțiile solare duc la intensificarea fenomenului. Se constată atunci fluxuri corpusculare cu mult mai dense (pînă la 200 ioni pe cm^3), iar viteza lor atinge $2\,000$ km/s. Emisiunile de protoni sînt foarte intense, avînd viteze și energii mari. Pe lîngă protoni, sînt emiși și curenți de nuclee de heliu, de electroni, mai rar oxigen, azot, neon. Câmpurile magnetice din zonele unde plasma și „norii” protonici au luat naștere sînt antrenate în spațiul interplanetar, unde apar astfel structuri magnetice complexe. Odată ajunse în apropierea Pămîntului, în regiunea cîmpului magnetic terestru iau naștere veritabile canale de scurgere (de forme spirale) a radiației corpusculare spre Terra; astfel se produc, în straturile superioare ale atmosferei, intense aurore polare, furtuni magnetice

și ionosferice și alte fenomene similare. Dealtfel, și în condiții obișnuite, cînd nu se produc erupții solare, vîntul solar perturbă constant cîmpul geomagnetic la latitudini înalte. În orice caz, în timp ce vîntul solar „sufală” neînterupt, fluxurile care provoacă furtunile magnetice prezintă mari fluctuații. O serie întreagă de procese dinamice din spațiul interplanetar sînt determinate, în desfășurarea lor, de către vîntul solar, care prelungește în acest mediu liniile de forță ale cîmpului magnetic al Soarelui.

Vîntul solar este considerat, în concepția de astăzi, ca un fenomen de expansiune permanentă a coroanei solare. Ideea aceasta își are obîrșia mai ales într-o serie de prelegeri ținute de E.N. Parker, în Statele Unite (1958—1959), care considera coroana solară în continuă extindere. Părerile sale au fost socotite prea îndrăznețe, pînă ce sondele spațiale le-au confirmat. Astăzi „vîntul solar” este considerat drept un fapt astronomic și diversele sale repercusiuni (de pildă influența sa asupra cozilor cometare) reprezintă „o parte importantă și fecundă a cercetărilor din domeniul fizicii solare”. (J.P. Rozelot). Mai neclară și controversată este însă explicarea acestei emisiuni. După cite se pare, datorită unui aport de energie sub formă ondulatorie în coroana solară, se produce o încălzire extremă a acesteia, care provoacă ejectarea energiei excedentare, ceea ce echivalează cu extinderea coroanei, mai precis a unor componente ale ei, în spațiul interplanetar.

Fără îndoială, sîntem într-un domeniu în care multe fapte se mai cer clarificate, ceea ce va deveni posibil în special prin cercetarea spațiului din apropierea Soarelui de către sonde automate. În orice caz, intensitatea vîntului solar este foarte inegală. Uneori sondele evoluează practic „în gol”, iar alteori întîlnesc concentrații apreciabile de plasmă solară. Toatădată, se pare că în spațiul interplanetar avem de-a face pe de o parte cu o materie „de bază” neutră, la care sarcinile pozitive și negative se echilibrează, iar pe de altă

parte cu plasma solară purtătoare de sarcină electrică. La un colocviu care a fost ținut de Uniunea Astronomică Internațională în S.U.A. (1962), a reieșit că, în concepția modernă, coroana solară — căreia îi era consacrată reuniunea — se identifică cu spațiul interplanetar. Extensiunea considerabilă a „vântului solar“ a făcut pe mulți specialiști să afirme că planetele „plutesc literalmente în atmosfera Soarelui“, adică în coroana solară, — o noțiune care, dacă se mai cere încă precizată, exprimă însă o orientare nouă în conceperea spațiului interplanetar. În același sens pledează și o lucrare de sinteză fundamentală a lui A.J. Hundhausen (1972), citată de noi în bibliografia ce urmează și consacrată expansiunii coroanei solare și vântului solar.

După ultimele aprecieri, la distanța de 30—40 U.A. de Soare, viteza vântului solar descrește pînă la circa 100 km/s. Pe la 300 U.A., viteza scade la circa 5 km/s, în timp ce densitatea protonică scade sub 0,1 particule pe cm^3 , pentru ca la depărtări și mai mari densitatea să tindă spre zero. În legătură cu mecanismul genezei vântului solar, trebuie observat că în coroana solară diferiții ioni, protoni, electroni care sint eliberați trebuie în acest scop considerabil accelerați (viteza de eliberare a unui proton este de 618 km/s).

În ansamblu, vîntul solar este încă o mare necunoscută. Totuși, calculele bazate pe măsurătorile sondelor spațiale au dus la o serie de determinări interesante. Astfel, între 1962 și 1967, trei astfel de sonde au stabilit că nucleele de heliu reprezintă cam 4,5% față de cele de hidrogen (A.J. Hundhausen). Iată cîteva proprietăți ale vîntului solar la nivelul orbitei terestre, după aprecierile sintetizate în 1973 de către J.P. Rozelot (acest autor propune dealtfel schimbarea denumirii de „vînt solar“, neoferind însă o altă alternativă și sugerează ca în loc de coroană să se utilizeze termenul „inveliș circumsolar“).

	Vînt solar „calm“	Vînt solar în condi- țiile intensificării ac- tivității solare
Viteza curentului corpuscular (medie)	320 km/s.	800 km/s
Densitatea protonică sau electronică	5—8 part./cm ³	40 part./cm ³
Temperatura protonică	40 000 K	8×10^5 K
Temperatura electronică	$1,5 \times 10^5$ K	8×10^5 K
Cîmpul magnetic	de ordinul a 5×10^{-5} Gauss	de ordinul a 2×10^{-5} Gauss
Durata medie a parcurgerii traseului Scare-Terra	5×10^5 secunde (cam 8 zile)	cîteva ore

Viteza unor particule este atît de mare, încît se eva-
luază că pot parcurge distanța Soare-Pămînt în circa 3000
secunde.

BIBLIOGRAFIE

- Donald H. Menzel — M. et F. Egger, *Guide des étoiles et des planètes*,
Neuchâtel, 1971.
- Albrecht Unsöld, *Der neue Kosmos*, Berlin, Heidelberg, 1967.
- Lucien Rudaux et Gérard de Vaucouleurs, *Astronomie. Les astres*,
L'Univers, Paris, 1956.
- Arthur C. Clarke, *The Promise of Space*, New-York, 1968.
- Frank W. Cousins, *The Solar System*, New-York, 1972.
- G. A. Aristov, *Stroenie solecinoi sisteml*, Moskva, 1970.
- The Solar System*, Chicago, 1958—1961, vol. I: *The Sun*, Edited by
Gerard P. Kuiper; vol. II: *The earth as a planet*, Edited by
Gerard P. Kuiper; vol. III: *Planets and Satellites*, Edited by
Gerard P. Kuiper and Barbara M. Middlehurst.
- Zdenek Kopal, *The Solar System*, Oxford, 1972.

- V. G. Fesenkov, *Kosmologia solectinor sistemî*, Moskva, 1944.
- Paul Melchior, *Physique et dynamique planétaires*, Louvain, Bruxelles, 1971.
- Planètes et satellites*, Ouvrage publié sous la direction de Pierre Guérin, Paris, 1967.
- S. I. Rasool, *Physics of the Solar System*, Washington, 1972.
- Alan E. Nourse, *Nine planets*, New-York and Evanston, 1970.
- Pierre Guintini, *Les planètes*, Paris, 1949.
- Cosmosul apropiat și îndepărtat*, București, 1963.
- Howard A. Garcia, *The Mass and Figure of Saturn by Photographic Astrometry of its Satellites*, in *The Astronomical Journal*, octombrie 1972.
- Radar echoes from Saturn*, in *Sky and Telescope*, nr. 4, apr. 1973.
- I. M. Zabelin, *Geografia pe alte planete*, București, 1963.
- The McGraw-Hill Encyclopaedia of Space*, New-York-San Francisco, 1967.
- Encyclopédie soviétique de l'astronautique mondiale*, Moskva, 1971.
- Tj. de Vries et B. Ernst, *Encyclopédie de l'Univers*, Traduction et adaptation de Jean Meens. Paris, Bruxelles, 1960.
- Richard Skinner, A. C. B. Lovell, Harlow Shapley ș.a., *Speaking of Space*, Boston, Toronto, 1962.
- Oswald Thomas, *Himmel und Weltall*, Wien-Berlin-Stuttgart, 1951.
- Gino Cecchini, *Il Cielo*, vol. I și II, Torino, 1952.
- A. Weigert, H. Zimmermann, *A B C der Astronomie*, Leipzig, 1973.
- G. P. Kuiper, *Limits of Completeness*, in vol. III *Planets and Satellites*, Chicago, 1961.
- Evry Schatzman, *Les planètes naissent aussi*, Paris, 1960.
- William K. Hartmann, *Moons and Planets*, New-York, 1972.
- V. V. Șaronov, *Priroda planet*, Moskva, 1958.
- R. L. Carpenter, R. M. Goldstein, *Radar observations of Mercury*, in *Science*, 18 octombrie 1963.
- Willy Ley, *Rockets, Missiles and Men in Space*, ed. II, New-York, 1968.
- Pierre Guintini, *Les Planètes*, Paris, 1949.
- Fred L. Whipple, *Earth, Moon and Planets*, Cambridge-Massachusetts, 1952.
- E. M. Antoniadi, *La planète Mars*, Paris, 1930.

- Martin Caidip, *Destination Mars*, New-York, 1972.
- Dumitru Andreescu, *Spre Marte*, București, 1955.
- E. N. Parker, *Interplanetary Dynamical Processes*, New-York-London, 1967.
- B. Miles and W. H. Ramsey, *On the Internal Structures of Jupiter and Saturn*, London, 1952. Extras.
- E. Sevin, *La planète transplutonienne*, Paris, 1949.
- Does Planet X exist?*, in *Sky and Telescope*, nr. 1/1973.
- J. Meeus, *La planète X n-existe pas*, in *L'Astronomie*, iulie-august 1972.
- Patrick Moore, *The Planet Venus*, New-York, 1959.
- D. I. Martînov, *Na puti k raskitiiu zagadki Veneri*, in *Priroda*, nr. 9, 1966.
- Guy Israel, *L'exploration du Système solaire*, Paris, 1977.
- Planetary Satellites* (Joseph A. Burns editor), Tucson, 1977.
- J. A. Burns ș.a., *Les satellites naturels des planètes*, in *L'Astronomie*, nr. 3, 1979.
- A. Dollfus, *Visual and Photographic Studies of Planets at the Pic de Midi*, in vol. III, *Planets and Satellites* (edited by G. P. Kuiper), *Surfaces and Interiors of Planets and Satellites*, Edited by A. Dollfus, London and New-York, 1970.
- Kurt Rudolf, *Introduction to the Mechanics of the Solar System*, London-New-York, 1959.
- Gérard de Vaucouleurs, *La physique de la planète Mars*, Paris, 1955.
- V. G. Fesenkov și A. G. Mashevici, *K voprosu o stroenie himicheskoi sostave bolsh planet*, in *Astronomicheskii jurnal*, nr. 5, 1951.
- W. H. Ramsey, *On the constitution of the major planets*, London, 1952. (Extras)
- Rupert Wildt, *Planetary Interior*, in vol. II *Planets and Satellites* (edited by Gerard P. Kuiper).
- William H. Pickering, *The Trans-Neptunian Planet*, Mandeville - Jamaica, 1930.
- V. Nadolschi, Margareta Șugăr, *Popas printre insoțitorii planetelor*, București, 1969.
- I. M. Ștefan, *Familia Soarelui*, București, 1965.
- B. M. Rubasev, *Problemi solecinoi aktivnosti*, Moskva, 1964.
- I. I. Vitinski, *Prognozi solecinoi aktivnosti*, Moskva, 1963.
- George Gamow, *O stea numită Soare*, București, 1969.

- W. H. McCrea, *Physics of the Sun and Stars*, London, 1950.
- Constantin Macris, *Physics of the Solar Corona*, New-York, 1971.
- J. M. Wilcox ș.a., *Solar Magnetic Sector Structure: Relation to Circulation of the Earth Atmosphere*, în *Science*, 13 aprilie 1972.
- M. A. Ellison, *The Sun and its Influence*, London, 1959.
- Donald H. Menzel, *Our Sun*, London, 1950.
- Georges Brunat, *Le soleil*, Paris, 1951.
- Al. Dauvillier, *Physique solaire et geophysique*, Paris, 1950.
- V. V. Șaronov, *Soarele și observarea lui*, București, 1955.
- A. J. Meadows, *Early Solar Physics*, Oxford, London, 1966.
- F. E. Roach, *A Photometric Model of the Zodiacal Light*, în *The Astronomical Journal*, decembrie 1972.
- A. J. Hundhausen, *Coronal Expansion and Solar Wind*, Berlin, New-York, 1972.
- J. P. Rozelot, *Le vent solaire: un bref aperçu*, în *L'Astronomie*, februarie 1973.
- Physics of the Solar Corona* (edited by C. J. Macris), Dordrecht (Olanda), 1971.
- John C. Brandt, *Introduction to the Solar Wind*, San Francisco, 1970.
- Richard N. Thomas, R. Grant Athay, *Physics of the Solar Chromosphere*, New-York, London, 1961.
- I. S. Șklovski, *Fizika solecinoi koront*, Moskva, 1962.
- Robert Howard, *Solar magnetic fields*, New-York, 1971.
- Donald E. Billings, *A Guide to the Solar Corona*, New-York, London, 1966.
- Georgeta Mariș, *Emisia radio a soarelui activ*, în *Studii și cercetări de astronomie*, nr. 1, 1971.
- Radiastromia solare*, Bologna, 1960.
- F. Hoyt, *Some recent researches in solar physics*, Cambridge, 1949.
- Solar Terrestrial Physics. Proceedings of the International Symposium Held in Leningrad*, Dordrecht (Olanda), 1972.
- L. H. Aller, *Astrophysics*, New-York, 1953.
- A. S. Severnii, *Fizika Solnșă*, Moskva, 1956.
- K. I. Kondratiev, *Lucistaia energia solnșă*, Leningrad, 1954.
- Solar Radiation*, Edited by N. Robinson, Amsterdam, London, 1966.
- S. I. Vavilov, *Ochiul și Soarele*, București, 1953.

- Leo Goldberg, *Historical basis of modern solar research*, in vol. I, *The Sun* (edited by G. P. Kuiper).
- H. Jarlan, *Le soleil*, Paris, 1950.
- B. Strömberg, *The Sun as a Star*, in vol. I, *The Sun* (edited by, G. P. Kuiper).
- Michel Trellis, *Contribution à l'étude de la couronne solaire*, Paris, 1957.
- R. Michard, *L'Etude de soleil durant l'Année Géophysique Internationale*, in *La Nature*, iulie, 1960.
- Harold C. Urey, G. P. Kuiper, J. E. Peelbes, Melvin Calvin ș.a., *The Earth in Space*, Edited by Hugh Odihaw, New-York, London, 1967.
- Harold Jeffreys, *The Earth*, Cambridge, 1970.
- George Gamow, *O planetă numită Pământ*, București, 1968.
- The Atmospheres of the Earth and Planets*, Edited by Gerard P. Kuiper, Chicago, 1952.
- Léon Bertin, *La Terre, notre planète* (Larousse), Paris, 1956.
- John Winckler, *The Earth Magnetosphere*, in *Discovery*, nr. 12, 1963.
- Helmuth Berg, *Solar-terrestrische Beziehungen in Meteorologie und Biologie*, Leipzig, 1957.
- Harold Spencer Jones, *Dimensions and Rotation*, in vol. II. *The Earth as a Planet* (edited by Gerard P. Kuiper).
- Harold Jeffreys, *The Earth. Its Origin, History and Physical Conditions*, ed. IV, Cambridge, 1959.
- Jean Goguel, *La Terre*, Paris, 1959.
- C. R. Wroe ș.a., *Earth and Space Sciences*, Boston, 1966.
- K. E. Edgenworth, *The Earth, the Planets and the Stars*, London, 1961.
- Patrick Moore, *Guide de la Lune. Son histoire, sa nature et ses paysages*, Paris, 1965.
- D. Șt. Andreescu, *Obiectiv nr. 1: Luna*, București, 1964.
- Richard S. Lewis, *Appointment on the Moon*, New-York, 1968.
- Silvia Bedini, Wernher von Braun, Fred L. Whipple. *Moon, man's greatest adventure*, Edited by Davis Thomas, New-York, 1970.
- Thomas A. Mutch, *Geology of the Moon*, Princeton, 1972.
- S. K. Runko and H. C. Urey, *A New Theory of Lunar Magnetism*, in *Science*, 11 mai 1973.
- John Noble Wilford, *We reach the Moon*, New-York, 1969.

- Apollo 11 Lunar Science, Conference*, Houston, 1970.
- Atlas obratnoi storoni Luni*, vol. I—II, Moskva, 1966—1967.
- Luna*. Sub redacția lui B. V. Markov, Moskva, 1960.
- Harold C. Urey, *Origin and history of the Moon*, in vol. *Physics and Astronomy of the Moon*, New-York-London, 1962.
- William R. Shelton, *Winning the Moon*, Boston, Toronto, 1970.
- N. A. Kozîrev, *Physical observations of the lunar surface*, in vol. *Physics and Astronomy of the Moon*, New-York-London, 1962.
- Harold Jeffreys, *Dynamics of the Earth-Moon System*, in vol. *The Earth as a planet* (edited by G. P. Kuiper), Chicago, 1960.
- I. Adler, *Geochemical Exploration of the Moon and Planets*, Berlin, Heidelberg, 1970.
- T. R. McGetchin, J. W. Head, *Lunar Cinder Cones*, *Science*, 6 aprilie 1973.
- Zdenek Kopal, *The Moon, our Nearest Celestial Neighbour*, London, 1960.
- Patrick Moore, *Survey of the Moon*, London, 1963.
- Zdenek Kopal, *Physics and Astronomy of the Moon*, Edited by Z. Kopal, New-York and London, 1963.
- I. M. Ștefan, *Vecina noastră, Luna*, ed. II, București, 1960.
- Neighbours of the Earth. Planets, comets and the debris of space*, London, 1965.
- Victor Nadolschi, *Asteroizi și comete*, București, 1971.
- Patrick Moore, *Guide to Comets*, London, 1977.
- M. Beyer, *Brightness of Comets and Solar Activity*, in vol. *La Physique des comètes*. Communications présentées au 4-è Colloque International d'Astrophysique, Louvain, 1953.
- Evry Schatzmann, *La structure et l'évolution des noyaux cométaires*. Extras din *Mémoires de la Société Royale des Sciences de Liège*, tom. XIII, fasc. I—II, f.a.
- V. G. Fesenkov, *O prirode i proishojdenii komet*, in *Astronomiceskii jurnal*, nr. 4, 1962.
- Cuno Hofmeister, *Photographische Aufnahmen von Kometen*, Berlin, 1956.
- B. G. Marsden, *Catalogue of Cometary Orbits*, Cambridge, Massachusetts (S.U.A.), 1972.

- J. H. Oort, *The structure of the cloud of comets surrounding the solar system and a hypothesis concerning its origin*, in *Bull. Astronom. Instit. Netherlands*, nr. 11, 1950.
- S. K. Vsehsviatski, *Fiziceskie harakteristiki komet*, Moskva, 1958.
- H. I. Kazimirtşak-Polonskaya, *Rôle des planètes extérieures dans l'évolution des comètes*, in *L'Astronomie*, aug.—sept. 1968.
- Fred L. Whipple, *A comet model*, in *The Astrophysical Journal*, nr. 2, 1952.
- Fred L. Whipple, *On the icy conglomerate model for comets*, Louvain, 1953 (extras).
- Fred L. Whipple, *A comet model. I. The acceleration of comet Encke*, Chicago, 1950.
- Fizika komet i meteorov*, Kiev, 1965.
- Issledovanie ionosferi i meteorov*, Frunze, 1971.
- E. L. Krinov, *Meteoriti*, Moskva, 1948.
- Clyde Fisher, *Meteor Crater Arizona*, Philadelphia, 1934.
- Victor Anestin, *Cometele, eclipsele şi bolizii ce s-au observat în România între 1386 şi 1853*, Bucureşti, 1912.
- Marin Dumitrescu, *Aerolitul de la Sopot-Dolj*, Craiova, 1928.
- B. A. Lovell, *Meteor astronomy*, Oxford, 1954.
- Fletcher Watson jr., *Meteor Craters*, Harvard, 1936.
- H. J. Smith, *The Physical Theory of Meteors. The Masses of Meteor — Flare Fragments*, in *Astrophysical Journal*, nr. 2, 1954.
- B. A. Mirtov, *O mehanizme obrazovania meteornogo sleda*, in *Astronomiceskii jurnal*, nr. 3, 1960.
- H. H. Nininger, *Out of the Sky. And Introduction to Meteoritics*, New-York, 1959.
- F. C. Leonard, *A Classificational Catalog of the Meteoritic Falls of the World*, Berkeley and Los Angeles, 1956.
- E. L. Krinov, *Tunguski meteoriti*, Moskva, 1949.
- Cornelia Cristescu, *Colocviul „Studiul fizic al micilor planete“*, in *Studii şi cercetări de astronomie*, nr. 2, 1971.
- M. A. Combes, *Les noms des astéroïdes*, in *L'Astronomie*, aprilie 1973.
- D. W. Dewhirst, *Physical conditions of asteroids*, in vol. I, *Encyclopedic dictionary of physics*, New-York-Oxford, 1961.
- J. Siroky, *On the system of minor planets*, Bruo, 1948.

- Roger Rigollet, *Données sur l'organisation du système des petites planètes*, Paris, 1952.
- Ingrid Groeneveld, G. P. Kuiper, *Photometric studies of asteroids*, in *The Astrophysical Journal*, nr. 2, 1954.
- D. Godillon, *Les astéroïdes*, în *L'Astronomie*, aug.—sept. 1968.
- J. Meeus, G. P. Können, *Les petites planètes Icarus, Geographos et Toro*, în *L'Astronomie*, sept. 1970.
- Louis Allen Hopkins, *The Embarrassing Wealth of Asteroids*, f.a., f. l. *Contribuții în astronomie — Contributions in astronomy — Observatorul astronomic București*, 1976.
- Ioan Todoran, *Cît mai aproape de stele*, Cluj-Napoca, 1977.

III. GALAXIA

A. GENERALITĂȚI

1. Vecinii noștri stelari

Pentru precizarea distanțelor din cuprinsul sistemului nostru solar, ne-a ajuns ca măsură unitatea astronomică (U.A.), distanța dintre Soare și Pământ. Sau, mai exact, o unitate astronomică reprezintă semi-axa mare a orbitei terestre: 149,6 milioane de kilometri. Chiar și pînă la cea mai îndepărtată planetă cunoscută, Pluton, nu sînt în medie decît 39,5 U.A. față de Soare. Această unitate nu mai este însă operantă atunci cînd e vorba de distanța pînă la stele. Cum scrie Eminescu:

*La steaua care-a răsărit
E-o cale-atît de lungă,
Că mii de ani i-au trebuit
Luminii să ne-ajungă.*

*Poate de mult s-a stins în drum
În depărtări albastre,
Iar raza ei abia acum*

Luci vederii noastre.

Icoana stelei ce-a murit

Încot pe cer se suie:

Era' pe cînd nu s-a zărit,

Azi o vedem, și nu e.

Nimic inexact în aceste imagini înaripate și nostalgice. (Eminescu s-a interesat în mod deosebit de problemele astronomiei, așa cum rezultă din multe manuscrise și din unele desene rămase de la el).

Chiar și de la cea mai apropiată stea, lumina are nevoie de cîtiva ani ca să ajungă la noi (peste 40 trilioane kilometri), dar există și formațiuni cosmice pe care telescoapele și radio-telescoapele le detectează la o depărtare de la care unele electromagnetice se pare că fac 20 miliarde ani pînă la noi.

Unitatea în care, de obicei, se exprimă depărtările corpurilor cerești din afara sistemului solar, o constituie *anul-lumină* (a.l.), adică distanța parcursă de lumină într-un an, care corespunde cu cca. 63 mii U.A. și cu aproape 10 mii de miliarde km ($1 \text{ a.l.} = 9\,463\,000\,000\,000 \text{ km}$). Pînă la multe dintre stelele vizibile sînt uneori zeci, sute, mii de ani-lumină. O unitate astronomică fundamentală este *parsecul* (pc.), corespunzînd cu 206 265 U.A., 3,2633 ani-lumină sau aproximativ 32 mii miliarde kilometri. O stea este la depărtarea de 1 parsec atunci cînd, privită de la ea, semiaxa mare a orbitei descrise de Pămînt în jurul Soarelui ar apare sub unghiul (paralaxa)-de 1 secundă de arc (cuvîntul „parsec” derivă de la cuvintele „paralaxă” și „secundă”). Kiloparsecul are 1 000 pc., iar megaparsecul are 1 000 000 pc. Iată-ne astfel înarmați cu „metri cerești” capabili să măsoare proporțiile lumii stelare, să aprecieze distanțele dincolo de sistemul nostru solar. Să nu uităm, minuindu-i acum curent, că este însă vorba de unități de măsură uriașe.

Sărmanul Hesiod! Vrînd să sugereze distanța imensă dintre cer și Pămînt, el spunea că o nicovală aruncată „din cer” ar avea nevoie de 10 zile pentru a ajunge pe Terra. Contemporanii săi l-au luat în rîs, considerîndu-i presupune-

rea... mult exagerată. În realitate, până la cea mai apropiată stea, aflată la puțin peste 4 ani-lumină de noi, o rachetă, zburind cu a treia viteză cosmică — adică cu viteza de 16,7 km/s — ar avea nevoie de circa 80 000 ani pentru a parcurge în linie dreaptă distanța „Terra — cea mai apropiată stea“.

Revenind la sensul profund al poeziei lui Eminescu, să reținem faptul esențial că *cerul pe care-l privim de pe Pământ într-o noapte senină nu ne înfățișează corpurile cerești așa cum sînt ele în momentul în care le vedem, ci așa cum au fost și acolo unde au fost în diferite faze ale trecutului lor*, în conformitate cu distanțele care ne despart de ele (ore-lumină, ani-lumină, mii de ani-lumină etc.). Oricît ar părea de paradoxal, observîndu-le, călătorim în timp. De pe Pământ, întregul Univers, îl privim în trecut.

După considerațiile de mai sus, să revenim la problema ce ne interesează direct în acest paragraf și care — în perspectiva unor posibile, deși controversate, expediții astronomice interstelare — este importantă în primul rînd: care sînt stelele cele mai apropiate de noi, acelea de care ne despart „doar“ cîtiva ani-lumină, adică de cîteva ori zece mii de miliarde de kilometri?

De la început trebuie să spunem că cea mai apropiată stea (exceptînd Soarele, care este și el o stea), se află la o distanță de vreo 5,5 mii de ori mai mare de Pământ decît este Pluton față de noi (și să nu uităm că Pluton este de vreo 11 mii de ori mai depărtat de noi decît Luna). De la acel astru, Soarele se zărește ca o stea luminoasă, de culoare gălbuie. Planetele sistemului nostru solar (nici măcar uriașul Jupiter) nu se deosebesc însă. Această „vecină“ este steaua Alfa din constelația Centaurului, aflată la o distanță de 4,29 ani lumină, adică 1,32 parseci de noi. De fapt, este vorba nu de o stea, ci de un sistem stelar alcătuit, după ultimele observații, din trei stele, dintre care două galbene, apropiate una de cealaltă, de aproximativ mărimea Soarelui (Alfa Centauri A și Alfa Centauri B), iar cea de a treia la o distanță destul de mare de acestea două, o stea mică, roșcată, invizibilă cu ochiul

liber de magnitudinea 11 aşadar o stea cu o slabă strălucire (cca. cinci sutimi de miimi din luminozitatea Soarelui). Aceasta este Alfa Centauri C, denumită şi Proxima Centauri — considerată mult timp ca un astru independent — steauă care se apropie cel mai mult de Pământ (la cca. 4,27 ani lumină), de unde şi denumirea ce i s-a dat. Interesant de menţionat că stelele A şi B se rotesc în jurul unui centru comun, în timp ce steaua C se roteşte în jurul acestor tovarăşi ale ei, în decursul citorva zeci de mii de ani. Alfa Centauri C are deci o orbită gigantică, iar apropierea minimă de Pământ amintită, are loc numai pe o anumită porţiune, corespunzătoare, a ei. Sistemul Alfa din Constelaţia Centaurului (Centauri) nu este vizibil din zona noastră geografică. Dealtfel, cel ce i-a măsurat primul paralaxa, adică i-a stabilit distanţa de noi, a fost astronomul Thomas Henderson, care l-a observat în 1837 în Africa. După unele presupuneri, Proxima Centauri ar avea un însoţitor întunecat, o planetă.

În ordinea distanţei faţă de noi, după Alfa Centauri urmează steaua Barnard (constelaţia Ophiucus), aflată la 5,97 ani-lumină de Soare, cu o masă reprezentînd 0,15 din masa Soarelui. A fost descoperită de Edward Emerson Barnard (1857—1923), acelaşi care descoperise în 1892 cel de al cincilea satelit al lui Jupiter, după ce vreme de aproape trei secole nu fuseseră cunoscuţi decît cei patru identificaţi de Galilei. În 1916, Barnard a descoperit steaua care îi poartă numele, iar după moartea sa Peter Van de Kamp s-a consacrat decenii la rînd studiului ei. O tehnică foarte fină de observare i-a permis acestuia să identifice, în 1963 şi 1969, două planete B_1 şi B_2 — care se rotesc în jurul stelei; era astfel descoperit un sistem planetar dincolo de sistemul nostru solar.

Van de Kamp a şi calculat caracteristicile celor două planete: B_1 ar avea o masă de 250 ori mai mare decît a Pămîntului şi s-ar roti la cca. 420 milioane kilometri de stea (2,8 U.A.), iar B_2 ar avea o masă depăşind de 350 ori masa Pămîntului, efectuîndu-şi revoluţia la 675 milioane kilo-

metri distanță (4,5 U.A.). Deci prima planetă ar avea o masă ceva mai mică decât Jupiter (0.8), iar cea de a doua ceva mai mare (1,1). Este considerat posibil ca mai aproape de stea să se rotească o serie de planete mai mici, așa cum se întâmplă în cazul sistemului nostru solar.

Între 7 și 8 ani-lumină de Soare se află alte două stele. Sînt stelele L 726-8, o stea dublă și Wolf 359, cărora nu le-au fost descoperiți însoțitori planetari. La o distanță de 8,19 a.l. se află însă din nou o stea care pare să aibă un însoțitor întunecat. Este vorba de Lalande 21 185, o stea roșie în jurul căreia pare să se rotească, în circa 420 zile, un corp ceresc avînd o masă de 30 ori cît masa lui Jupiter; e vorba deci de o planetă supragigantă, care tocmai de aceea a putut fi identificată. La 8,69 ani-lumină depărtare se află Sirius — cea mai strălucitoare stea de pe bolta cerească.

Sirius este de aproximativ două ori mai mare ca diametru decît Soarele și radiază de 20 ori mai multă energie în spațiu decît acesta. Dacă ne-am închipui Soarele înlocuit în sistemul nostru planetar cu Sirius, ghețurile polare s-ar topi curînd și dogoarea astrului ar face viața umană cu neputință. Stea dublă, ca și multe altele, Sirius este alcătuit dintr-un astru principal — Sirius A —, la care ne-am referit pînă acum și un însoțitor cu mult mai mic — Sirius B — o stea pitică albă, de o densitate foarte ridicată (ne vom mai referi detaliat la astfel de stele). Sirius B a fost descoperit pe baza neregularităților observate în mișcarea lui Sirius A, de către A. Clark, în 1862 (pe aceeași bază, Bessel o prevăzuse însă încă din 1844)*.

În sfîrșit, la 9,31 a.l. de Soare se află steaua Ross-154, în constelația Săgetătorul. Această mică stea roșie, invizibilă cu ochiul liber, nu pare să aibă însoțitori.

Deci pînă la o distanță de 10 ani-lumină de Soare au fost identificate 7 stele (considerînd sistemele de stele sau stelele

* O pitică albă a fost identificată și în preajma stelei Procyon, aflată la 11,3 ani-lumină de noi.

multiple drept cite o singură stea). Alte 52 stele au fost identificate între 10 și 20 ani-lumină de Soare. Prima dintre acestea, în ordinea depărtării, este Epsilon Eridani (10,68 a.l.), avînd o masă reprezentînd 80% din masa Soarelui, cu care dealtfel prezintă multe asemănări. Steaua 61 din constelația Lebedei este o stea dublă, la 11,1 ani-lumină de noi; a fost identificată și o planetă, depășind o dată și jumătate masa lui Jupiter, care se rotește în jurul ei în mai puțin de 5 ani. Steaua Tau din constelația Balenei (11,8 a.l.), este în multe privințe similară Soarelui, dar nu i s-au descoperit însoțitori întunecați. În schimb, o astfel de planetă a fost identificată ca rotindu-se în jurul stelei Krüger-60, la 13,1 ani-lumină de Soare; durata revoluției este de 16 ani, iar masa întrece de 9 ori pe cea a lui Jupiter. Un mare interes prezintă steaua Ross 614 (13,14 a.l.), din constelația Orion. În jurul acestei stele roșii, se rotește o planetă supragigantă (80 mase joviene), care a putut fi detectată optic de către W. Baade la Observatorul Palomar, datorită telescopului cu oglinda de 5 m diametru. O altă stea cu un însoțitor întunecat precis identificat este Eta din constelația Cassiopeia (17,9 a.l.); în jurul căreia se rotește o planetă cu masa depășind de cca. 10 ori pe a lui Jupiter și cu o durată de revoluție de 24 ani.

Nu ne-am referit decît la cîteva stele aflate pînă la o depărtare de 20 ani-lumină de Soare și nici nu ne-am oprit asupra tuturor aceloră în jurul cărora s-au descoperit rotindu-se planete. În orice caz, un deosebit interes prezintă descoperirea atîtor sisteme planetare. Cînd investigația se va extinde pînă la 100 ani-lumină, cele cîteva mii de stele care vor fi studiate vor furniza desigur date noi, mai ales cînd instrumentele astronomice se perfecționează continuu.

Iată distanțele față de noi, în ani-lumină și parseci, ale cîtorva dintre stelele „aproprate“:

Steaua	ani-lumină	parseci
Alfa Centaurul	4,29	1,32
Steaua Barnard	5,97	1,84
L 726—8	7,10	3,14
Wolf 359	7,74	2,38
Lalande 21 185	8,30	3,69
Sirius	8,69	2,67
Ross 154	9,31	4,12
61 Lebăda	11,1	3,42
Procyon	11,3	3,48
Steaua Kapteyn	12,7	3,87
Steaua Van Maanen	13,2	4,06
Altair	15,7	4,82

Aceste distanțe au fost de mai multe ori modificate, în urma unor determinări din ce în ce mai exacte și nu sînt nici ele definitive.

Dintre stelele aflate în „apropierea“ Soarelui cercetate pînă acum, doar cîteva, de pildă Sirius, Procyon și Altair, sînt în mod indiscutabil mai luminoase decît el. Alte cîteva au o luminozitate similară. Marea majoritate sînt însă mai slabe ca luminozitate, unele chiar cu mult mai slabe. Dacă aceasta este o „consolare“ pentru faptul că Soarele a trebuit detronat din rolul de „centru al Universului“, atribuit chiar și de Copernic, cu atît mai bine (e drept, în zone mai depărtate de sistemul nostru, există și stele mult mai mari și mai luminoase).

Pe de altă parte, mai trebuie să menționăm că, printre aceste stele apropiate, multe sînt duble și triple, doar o minoritate fiind stele simple. Să fie acestea o caracteristică atît de răspîndită a astrilor din Galaxie?

Stelele apropiate de Soare împreună cu acesta din urmă alcătuiesc „grupul local“ adică un sistem stelar din cuprinsul marelui vîrtej galactic, avînd și o mișcare caracteristică în cadrul Galaxiei. Să mai reținem faptul că Soarele se află

intr-o zonă galactică unde concentrarea de stele nu este prea mare.

2. Imaginea generală a Galaxiei

Ne-am referit, în succinta parte istorică a cărții noastre, la descoperirea Galaxiei, ca la una dintre cele mai mari biruințe ale rațiunii omenești. A înțelege că vălul lăptos, aparent plat, fără adâncime, care traversează mai multe constelații ale bolții, parcurgînd ca un briu cerul întreg, este el însuși doar proiectarea pe bolta cerească a planului fundamental al unui sistem stelar organizat, de o formă precisă în spațiul cosmic, din care chiar sistemul nostru solar face parte, a reprezentat o victorie spectaculoasă a cunoașterii. E ca și cum un om care nu a părăsit niciodată locuința sa ar sesiza totuși planul orașului în care locuiește.

Într-un capitol anterior, am dat unele repere ale poziției și mișcărilor sistemului nostru solar în cuprinsul spiralei galactice. Faptul că noi înșine, cu sistemul nostru planetar, facem parte din sistemul galactic, are ca urmare caracterul extrem de complicat al observării sale.

Este important de știut că Galaxia nu este, după cum s-a presupus inițial, o formație „gigantă” față de alte galaxii de același tip (și această părere constituia o prelungire a naivității și vanității omenești, oglindită în geocentrism și antropocentrism.) Este un sistem stelar de mărime și de vîrstă mijlocie printre insulele cosmice de acest gen. Dimensiunea propriu-zisă, numărul de aștri, precum și masa sa confirmă toate acest lucru.

Cel care a sesizat deosebit de bine forma galactică și mișcărilor din cadrul Galaxiei a fost Jacobus Cornelis Kapteyn (1851—1922), directorul Observatorului astronomic Groningen, din Olanda. Dacă William Herschel lua în considerare un sistem stelar de forma unei roți, ale cărei dimensiuni, traduse în ani-lumină, erau după el de cca. 8 000 ani-lumină

lungime și 1 500 ani-lumină lățime, Kapteyn presupunea Galaxia cu un volum de sute de ori mai mare decât a lui Herschel, cu dimensiuni care, după mai multe corecturi, i-au rezultat în 1920 la $55\,000 \times 11\,000$ ani-lumină. Totodată Kapteyn a înțeles mai clar forma de „luptă” a Galaxiei, ca și faptul că stelele din cuprinsul ei au o mișcare care se face după o anumită regulă, într-o ordine pe care nu a putut-o însă identifica. Kapteyn, ca și Herschel, rezerva Soarelui o poziție centrală în Galaxie, rămasă a vechii dogme.

Un moment hotărâtor în studiul Galaxiei l-a constituit studiul sistemului pe care i l-a consacrat astronomul american Harlow Shapley. Acesta a descoperit o importantă concentrare de stele în regiunea constelației Săgetătorul și a presupus rotirea lor în jurul unui nucleu*. El a considerat că acest centru este în același timp nucleul galactic. Shapley a atribuit, e drept, sistemului galactic dimensiuni exagerate (un diametru maxim de 300 000 ani-lumină), dar a fost cel dintâi care a înțeles că sistemul nostru solar nu se află în centrul acestuia, ci spre marginea sa.

Academia Națională de Științe a Statelor Unite a organizat o dezbateră între Kapteyn și Shapley la Washington (26 aprilie 1920). Deși cei doi protagoniști ai discuției nu s-au putut pune de acord asupra modelului Galaxiei, ei au reușit să convină asupra citorva puncte, de pildă asupra faptului că stelele aflate în regiuni îndepărtate ale Galaxiei nu sînt funciarmente deosebite de cele studiate în zona din care face parte și Soarele nostru.

Treptat, modelul general propus de Shapley a fost acceptat, reducîndu-i-se însă dimensiunile.

În sfîrșit, în 1926, suedezul Bertil Lindblad a ajuns la rezultate importante privind rotația diferențiată a stelor Galaxiei, iar un an mai tîrziu, în 1927, olandezul Jan Hendrik Oort a demonstrat că rotația se produce mai repede în zonele centrale decît în cele periferice. Tot Oort a confirmat

* Ca centru de simetrie al acestor îngrămădiri.

concluziile lui Shapley privind localizarea nucleului galactic, prin determinări suplimentare, de o mare finețe.

Astăzi se consideră că Galaxia are, văzută dinspre muche (în profil), forma unui disc plat, cu o accentuată „umflătură” centrală. Dimensiunile cele mai larg admise sînt de $85\,000 \times 15\,000$ ani-lumină, deși există și alte aprecieri, în general ceva mai ridicate. O lucrare de bază (*Guide des étoiles et planètes* de Menzel și Egger) indică $100\,000 \times 10\,000$ a.l. Privită din față, Galaxia are forma unei spirale cu mai multe brațe, avînd în centru o aglomerare, un nucleu. Poziția sistemului nostru solar a fost determinată în apropierea imediată a unui braț al Galaxiei, la circa $27\,000$ — $30\,000$ ani-lumină de centrul galactic, deci într-o poziție mărginașă, dar foarte aproape de ecuatorul galactic, la vreo 50 ani-lumină nord de el. Grosimea „lupei” galactice în zona Soarelui este de circa $3\,000$ ani-lumină.

Imaginea spirală a Galaxiei, așa cum am prezentat-o grafic, după Ellison, la capitolul precedent, nu reprezintă decît o schemă indicativă. De fapt, imaginea reală este cu mult mai complicată, brațele spirale au ramificații numeroase, iar în apropierea centrului galactic ele se pot cu greu detecta, deși acolo par a fi foarte apropiate laolaltă. Cu toate cercetările întreprinse, totalitatea spirelor Galaxiei nu a fost încă identificată, după cum mai sînt și alte regiuni galactice destul de puțin cunoscute.

Iată deci schema generală a Galaxiei noastre: Un nucleu luminos, dar relativ mic, este înconjurat de o mare concentrație de stele. Acest bulb central are un diametru de cca. 15 — $20\,000$ ani-lumină. Din el pornesc brațele spirale, alcătuite dintr-un amestec de materie stelară și materie difuză, după cum vom vedea mai departe, îndepărtîndu-se pînă la 35 — $40\,000$ ani-lumină de centru. Unele dintre aceste brațe au putut fi destul de precis identificate. Spațiul dintre brațe pare să fie sărac în stele și materie interstelară.

Pe de altă parte, după cum sistemul nostru planetar — socotind pînă la hotarul lui Pluton — se află în centrul unui

mare și rarefiat nor de comete, așa și Galaxia își are învelișul său — haloul.

Spirele sînt situate toate în același plan, în planul galactic, în cuprinsul discului la care ne-am referit la început. Brațele acestea sînt destul de voluminoase, dacă ne gîndim că grosimea lor crește de la periferie spre centru, cea mai mică atingînd vreo 1 500 ani-lumină — adică, să ne reamintim, cca. 15 000 mii miliarde kilometri. Cum au fost ele descoperite? Dificultatea constă mai ales în existența unei „bariere optice“. O serie de nori obscuri, absorbanți, situați în planul ecuatorului galactic, maschează vizual atît regiunile centrale ale Galaxiei, cît și cele situate dincolo de ele. La aceasta se adaugă însăși pierderea de radiație datorită trecerii luminii stelelor printr-o regiune cu o mare concentrație stelară. Schița simplificată pe care o prezentăm (vezi fig. 36) ne arată că doar 15—20% din discul galactic este optic vizibil din poziția în care se află sistemul nostru solar. Bariera amintită a putut fi totuși străpunsă, datorită mai ales radioastronomiei. Căci aceiași nori, optic absorbanți, sînt penetrabili față de undele hertziene, ceea ce permite observarea ansamblului galactic cu ajutorul radiotelescoapelor.

Cele trei spire identificate ale Galaxiei noastre (după emisiunea hidrogenului neutru pe lungimea de undă de 21 cm — J.H. Oort — și după distribuția supragigantelor albastre — W.W. Morgan) au primit numele constelațiilor în direcția cărora se văd de pe Terra:

- brațul Orion
- brațul Săgetătorul
- brațul Perseu

Soarele se găsește în vecinătatea ramificației unui braț, ramificație care pornește din direcția stelei Alfa a constelației Lebdă.

Să ne oprim puțin asupra tehnicii radioastronomice de detectare, al cărei rol decisiv l-am semnalat. Stelele Galaxiei emit rareori unde hertziene suficient de intense spre a fi detectate, cel puțin actualmente, de către radiotelescoape.

Radiosursele Galaxiei sînt de aceea mai ales nebuloasele care conțin hidrogen ionizat, resturile exploziilor supernovelor și chiar spațiul interstelar care cuprinde hidrogen neutru în mari cantități.

Cele trei categorii principale de emisiuni radio din cadrul Galaxiei sînt următoarele:

1. Este vorba, mai întîi, de emisiunile continue, de origine termică, produse de mișcarea dezordonată a electronilor în norii de hidrogen ionizat. Unde de acest fel sînt emise, în special, de către nebuloasele difuze. Regiunile de nori de hidrogen ionizat care emit astfel de radiații au fost denumite H II.

2. O însemnătate mare au și emisiunile continue, sincrotrone, datorate unor electroni foarte rapizi, care se deplasează într-un câmp magnetic intens. Astfel de emisiuni provin de pildă de la o nebuloasă celebră a Galaxiei. — Crabul — despre care vom mai vorbi.

3. Emisiuni datorate radiațiilor materiei interstelare. O deosebită importanță prezintă radiația hidrogenului neutru pe lungimea de undă de 21 cm — la care ne-am mai referit — descoperită în 1951, care a contribuit considerabil la studiul structurii fine a Galaxiei. Spirele au mult hidrogen în spațiul lor interstelar, ceea ce a ușurat identificarea acestora.

Structura de disc și de spirală în același timp a Galaxiei a fost sugerată și de aspectul unor galaxii vecine și în primul rînd a vecinei celei mai apropiate, și anume Messier 31, din constelația Andromeda, denumită de obicei pe scurt Galaxia Andromeda. Faptul că nu este vorba de o excepție o dovedesc și imaginile telescopice ale altor formațiuni cerești. Este suficient să privim fotografiile Galaxiei NGC 4565 din constelația Părul Berenicei și observăm un clasic „disc umflat” sau fotografia Galaxiei M 74, din constelația Peștii, pentru a contempla un exemplu clasic de „spirală galactică”, văzută din față.

Galaxia noastră? O galaxie spirală, ca multe altele, foarte asemănătoare celorlalte, deși nu identică cu vreuna dintre ele.

Imaginea generală a Galaxiei s-a precizat astfel tot mai mult.

În ceea ce privește masa ei principală, se poate spune că aceasta este cuprinsă într-un sistem plat. Nu același lucru putem însă spune dacă ținem seama și de existența „haloului galactic”, o zonă vastă, sferică (ce cuprinde în interiorul ei discul plat propriu-zis al Galaxiei), formată din îngrămădiri globulare de stele și, de asemenea, stele răzlete, printre care mai ales variabile pulsatorii de tipul R:R. Lira. Cu tot volumul său uriaș, se atribuie haloului galactic o masă totală reprezentînd, după unele aprecieri, doar 20% din masa întregii Galaxii. O materie interstelară difuză dar relativ rarefiată se mai află risipită aci. Astăzi, s-a confirmat că emisiunea radio a haloului provine de la electroni rapizi aflați într-un cîmp magnetic.

Am făcut încă un pas înainte în înțelegerea structurii galactice. Laolaltă cu haloul — considerat adesea ca o emanație a discului principal — „portocala” galactică are un diametru de circa 160 000 ani-lumină. „Tăiată în două”, această formație sferică apare ca o emisferă, așa cum o prezentăm, într-o schemă mult simplificată, în schița de la sfîrșitul cărții (fig. 37).

Pentru a fi mai compleți, trebuie să amintim și de „anelele” Galaxiei, de „sateliți” ei, cele două îngrămădiri de stele denumite „norii lui Magellan”, în cinstea marelui navigator care a înconjurat cel dintîi, pe apă, Pămîntul. Cea mai mare dintre aceste formațiuni — cu un diametru de circa 25 mii ani-lumină — a fost descoperită încă din veacul al X-lea (fără a i se identifica bineînțeles poziția în spațiul cosmic, ci doar pe boltă), de către astronomul arab Abd-el Rihman, care a și botezat-o „Boul alb”. În cursul expediției lui Magellan prin mările Sudului, a fost din nou observată. Ea se află la cca. 165 mii ani-lumină de centrul galactic,

în timp ce sora ei mai mică este cu cca. 10 mii ani-lumină mai departe. Distanța relativ redusă dintre cei doi sateliți i-a făcut pe unii specialiști să considere că ei constituie un fel de „subsistem” galactic. Evident că dacă includem și norii lui Magellan în structura Galaxiei, dimensiunile ei devin și mai uriașe.

Să nu uităm în orice caz un lucru: toate cele 6 000 de stele care se văd cu ochiul liber de pe Pământ fac parte din Galaxie.

Cercetările întreprinse de specialiști, dintre care un merit deosebit îi revine lui W. Baade, au permis identificarea mai multor „populații” stelare în sistemul galactic. Este vorba de stele din „populația I” (cu o constituție similară Soarelui, cele mai luminoase fiind stele albastre) și de stele din „populația II” (sărace în elemente metalice, cele mai luminoase fiind stelele roșii). Această clasificare inițială a fost ulterior considerabil nuanțată, descoperindu-se de pildă „populații” intermediare. În bulbul central, este caracteristică prezența stelelor variabile de tipul R.R. Lira. Populația cea mai veche a Galaxiei se află în haloul galactic, în timp ce în componenta plană a discului galactic se găsesc în general aștri mai tineri.

Elementele grele existente în materia interstelară joacă un rol important în viața stelelor, care se nasc din aglomerarea ei și explică în parte diferențele importante care există între populații. Să ne amintim că, în cazul Soarelui, ciclul carbonului produce 10% din energia solară, ori acest element are un rol esențial în stele, unde procesul de bază este „uzina de heliu”, cu alte cuvinte producerea heliului pornind de la hidrogen.

Pentru a rezuma, Galaxia, al cărei plan central pe cer ne apare drept Calea Laptelui, este un imens sistem alcătuit din stele, materie difuză și materie sub formă de radiații și cimpuri de diferite vârste și compoziții. Acestui sistem stelar îi aparține și sistemul nostru solar.

În ce privește proporțiile Galaxiei, ele au fost apreciate cu destulă exactitate, după multe evaluări divergente.

Herschel a fost foarte modest cînd a apreciat-o că ar cuprinde doar 300 milioane de stele, adică de 50 mii ori mai multe decît se pot observa cu ochiul liber. În realitate, Galaxia noastră cuprinde circa 150 miliarde de stele și are o masă evaluată astăzi la circa 200 miliarde de mase solare. Doar jumătate din această materie este considerată a fi concentrată în stele, restul fiind răspîndită sub forma materiei difuze. Concentrația („umflătura”) centrală a Galaxiei cuprinde, după unele evaluări, $\frac{3}{4}$ din totalul acestei mase imense.

Privite de pe Pămînt, stelele Galaxiei par risipite pe boltă la întîmplare, cu o concentrare mai mare în banda albicioasă a Căii Laptelui. Dacă studiem însă cu atenție Galaxia, observăm că de fapt stelelor nu prea le „place” singurătatea, ele apar rareori ca aștri individuali, izolați. O dovedesc din plin stelele multiple, îngrămădirile (roiurile) globulare și îngrămădirile deschise de stele, norii de stele de felul „grupului local”, asociațiile de stele (considerate de Viktor Ambartsumian ca reprezentînd grupări de stele tinere etc.). De aceea, astronomia galactică și folosește pe scară largă metodele statistice, care iau în considerare „colectivele de obiecte stelare” ceea ce a ajutat la înțelegerea formei, structurii și mărimii Galaxiei.

Densitatea stelară nu este aceeași în toată Galaxia. Ea se prezintă în concentrații foarte variate, dar în orice caz este mai slabă în zonele marginase și crește simțitor în direcția constelației Săgetătorul, unde se află, cum arătam, nucleul galactic.

Cîmpul magnetic al Galaxiei nu este de o intensitate deosebită, dar el este suficient pentru a da o direcție și o orientare destul de precise particulelor materiei interstelare. Acest cîmp joacă un rol important în mișcarea particulelor din care materia respectivă e alcătuită.

3. Nucleul galactic și evoluția Galaxiei

Descoperirea nucleului galactic a reprezentat un important progres al astronomiei moderne; deși această formațiune este încă insuficient cunoscută. Localizarea ei, după cel de-al doilea război mondial, a fost mai ales un rezultat al investigațiilor radioastronomice (E.E. Becklin, G. Neugebauer, F.J. Low ș.a.). Cu toate acestea, asupra nucleului se pot face unele observații și în domeniul radiațiilor infraroșii; în acest sens, s-au întreprins lucrări în U.R.S.S. și Franța. Numeroase stele ce păreau complet stinse în radiația albastră au fost puse în evidență în infraroșu.

Nucleul galactic are un diametru relativ „mic”, după Menzel de cca. 10 pc. sau chiar mai puțin. Luminozitatea sa întrece pe aceea a Soarelui de cca. 10 milioane de ori. Din ce este alcătuit acest nucleu? După părerea lui Baade (1950), nucleul Galaxiei (ca și al altor galaxii) este format dintr-o populație stelară alcătuită mai ales din numeroase stele strălucitoare roșii. Se poate presupune, datorită marii concentrări a nucleului, că aștrii săi au proprietăți speciale, încă necunoscute. Nu este, de asemenea exclus, ca în centrul Galaxiei să existe un „Black hole” (a se vedea capitoul *Metamorfoze galactice*). Dacă n-ar fi norii obscuri, nucleul ar fi vizibil pe boltă chiar și cu ochiul liber, apărind de dimensiunile capului unei comete mari.

Începînd de la sfîrșitul deceniului al șaptelea al secolului nostru, nucleul galactic a început să fie studiat și cu ajutorul unor aparate instalate în avioanele ce se ridică la mari altitudini și în navele spațiale. Sursa de unde radio aflată în direcția presupusului nucleu galactic se numește radio-sursa „Sagittarius A”.

Studiul radiației pe lungimea de undă de 21 cm a hidrogenului i-a dus pe astronomii de la Leyda (Olanda) la o descoperire foarte importantă: aceea a expansiunii regiunilor centrale ale Galaxiei. Într-adevăr, masele de gaz cercetate de aceștia nu au o viteză nulă în raport cu Soarele, așa cum ar

trebui să se întâmple dacă s-ar roti doar în jurul nucleului galactic. O mare parte a hidrogenului neutru din zona centrală a Galaxiei este în expansiune, cu viteze pînă la 100 km/s.

În concepția actuală a multor astronomi, întreaga masă a Galaxiei este un produs al nucleului ei. Acesta „pompează”, ejectează materie, mai ales curenți de hidrogen, cu o viteză considerabilă, în toate direcțiile, realizînd o circulație a acestuia în tot sistemul galactic. Dacă ținem seama de faptul că nucleul se rotește, structura spirală a Galaxiei noastre dobîndește o explicație verosimilă, menținerea ei de-a lungul a miliarde de ani fiind posibilă prin acțiunea cimpurilor magnetice ce se formează.

În privința vîrstei Galaxiei, aceasta a putut fi apreciată, după unii specialiști, la cca. 14—15 miliarde de ani, ceea ce corespunde și vîrstei aștrilor cei mai bătrîni din cuprinsul ei (Soarele și sistemul nostru planetar, de vîrstă mijlocie, au 5—6 miliarde de ani).

A fost concepută o schemă, deocamdată ipotetică, de evoluție a Galaxiei. La originea ei ar fi o nebuloasă gigantică de hidrogen. O parte importantă din hidrogen s-ar fi transformat în heliu, datorită acțiunii stelelor inițiale, foarte masive. În condițiile unor presiuni și temperaturi foarte înalte, heliul s-ar fi transformat la rîndul său treptat în elemente mai grele, în special carbon și oxigen. Stelele inițiale și-ar fi încheiat astfel evoluția, cunoscînd în final și stadiul unor stele pitice albe supradense. Stelele cele mai masive din seria inițială ar fi explodat. Evoluția aceasta fiind rapidă — pe baza prefacerilor suferite de stelele grele — prima fază ar fi fost relativ scurtă. În circa 2 miliarde de ani, Galaxia și-ar fi putut produce tot stocul ei actual de heliu. În etapa următoare, evoluția ar fi fost mai lentă. Sub efectul rotației, hidrogenul rămas s-ar fi concentrat în discul galactic și mai ales în nucleul galactic. Nenumărate stele au luat naștere, în această fază, într-un mediu cosmic unde heliul reprezenta cam 32%, iar metalele 2—3%. Timp de miliarde de ani,

aceste stele continuă să transforme, asemenea Soarelui, în centrul lor, hidrogenul în heliu — până ce în ultimele lor stadii heliul însuși intră în reacție.

Cele mai „bătrâne” stele ale Galaxiei au circa 13 miliarde de ani, iar cele mai vechi roiuri circa 14 miliarde de ani.

Soarele s-a format relativ târziu, — în raport cu nașterea întregii Galaxii —, iar viitorul său cuprinde un timp oarecum egal cu durata trecutului său.

Desigur, nu este vorba de o schemă general acceptată. După unii specialiști, „materia inițială” a galaxiilor nu ar fi hidrogenul pur. Pe de altă parte, s-ar putea ca o parte din heliu și din materia difuză să se fi format anterior proceselor descrise mai sus. Duratale etapelor de evoluție menționate s-ar putea dovedi a fi fost mai scurte decât cele indicate anterior.

4. Rotația Galaxiei

Mișcările din cadrul Galaxiei sînt tot atît de complexe ca și structura ei. Într-un paragraf din capitolul anterior, am menționat mișcarea proprie a Soarelui care antrenează întreg sistemul nostru planetar; ea se desfășoară cu o viteză apreciată la 19,4 km/s, în direcția apexului, situat în constelația Hercule. Datorită acestei mișcări, o serie de stele apropiate au o mișcare aparentă spre-punctul opus, denumit antiapex; aceste mișcări aparente sînt, în mare, similare celor pe care le observăm cînd mergem cu mașina pe o șosea; arborii de pe cele două părți ale drumului par să „fugă” înapoi.

Bineînțeles că și alte stele au astfel de mișcări proprii.

Mai important este însă faptul că sistemul nostru solar, împreună cu grupul local de stele, ia parte la o gigantică mișcare de translație în jurul nucleului galactic. Dealtfel, mișcări de acest fel sînt caracteristice tuturor formațiilor Galaxiei.

Asemenea inelelor lui Saturn — dacă este îngăduită această comparație între un pitic și un gigant — Galaxia nu se rotește însă „dintr-o bucată”, ca un corp solid. Astele

și grupările stelare aflate mai aproape de centru se rotesc mai repede, iar cele mai îndepărtate mai încet.

Soarele face un tur complet al Galaxiei într-o perioadă ce a fost apreciată la 200—250 milioane de ani, cu o viteză de circa 220 km/s.

Giganticul tur descris de Soare se face pe o orbită eliptică de mică excentricitate, apropiată ca formă de un cerc. (Deci Soarele se rotește într-adevăr, așa cum credea Ptolemeu, în jurul unui centru, dar această mișcare nu are loc în cadrul sistemului planetar, ci în cadrul sistemului galactic și nu în jurul Pământului, ci a nucleului Galaxiei.)

Un interes deosebit prezintă comportarea neobișnuită a unor stele la care s-au observat viteze extrem de mari, precum și orbite ieșite din comun. Sînt stele cu o repartizare anumită pe bolta cerească și care se deplasează în general paralel cu planul galactic. Se crede în general că este vorba de aștri cu o orbită eliptică de o excentricitate foarte accentuată. Ar proveni fie, după o ipoteză, din zona centrală a Galaxiei, cînd vitezele lor radiale sînt îndreptate în sensul general al rotației galactice, fie, dimpotrivă, ar proveni din regiunile marginase ale Galaxiei, cînd vitezele lor radiale sînt îndreptate în sensul invers rotației galactice.

La antipodul stelelor „rapide” există și stele excepționale prin încetineala cu care se rotesc în jurul centrului Galaxiei, nedepășind — din motive încă nelămurite — 16—20 km/s.

Desigur că determinările vitezelor pe orbită și a perioadelor de translație galactică sînt greu de stabilit și se prezintă încă nesigure, avînd în vedere depărtările uriașe la care se află stelele. Dar chiar dacă considerăm pe deplin exacte datele apreciate pînă acum, mai rămîn încă multe puncte neclare în ce privește explicarea unor particularități ale aștrilor respectivi.

Mișcarea de ansamblu a Galaxiei, alcătuită cum am văzut, din nenumerate mișcări separate, o face să se rotească, după cîte se pare, în jurul unei axe perpendiculare pe planul ei. O mișcare care nu e nicidecum dezordonată, dar inegală,

variată, după cum variate sînt vitezele și orbitele componentelor ei. Și, în afara mișcărilor de revoluție din cadrul Galaxiei, obiectele care o compun mai au și alte mișcări, așa cum am văzut din exemplul Soarelui. După Menzel, Whipple și Vaucouleurs, o masă considerabilă de hidrogen neutru se îndepărtează de nucleul galactic, apropiindu-se de sistemul nostru solar, cu o viteză de circa 50 km/s, o concluzie ce corespunde și tezei amintite anterior, despre ejectarea de materie din nucleu.

Încheind aceste paragrafe consacrate citorva aspecte ale structurii și mișcărilor Galaxiei, este necesar să relevăm un lucru important: studiul lor scoate în evidență că distribuția astrilor și grupărilor astrale pe bolta cerească se datorează atît distribuției lor reale în spațiul cosmic, cît și poziției punctului de observație de unde privim (care schimbă în mare măsură perspectiva). Cu toate acestea, atît dispunerea spațială reală a stelelor, cît și poziția Soarelui, au putut fi deduse, în ultimă instanță, din distribuția aparentă a astrilor pe bolta cerească și în urma diferitelor tehnici de observație pe baza cărora au fost cercetați.

După aceste considerente generale asupra Galaxiei paragrafele următoare, vor analiza diversitatea de obiecte cosmice care o compun.

B. MATERIA STELARĂ

1. Stelele „obișnuite“

Dacă mișcarea planetelor în jurul Soarelui a preocupat mult mințile luminate din secolele trecute, ideile referitoare la stele și la sistemul stelar au evoluat cu mult mai încet. Kepler privea vag problema naturii stelare, Galilei și Giordano Bruno susțineau că stelele sînt corpuri cerești îndepărtate, înconjurate de planete asemănătoare celor ale sistemului

lui solar. Totuși despre argumente care să demonstreze aceste afirmații nu se putea încă vorbi. În veacul al XVII-lea Christiaan Huygens a fost printre primii care a proclamat identitatea între Soare și stele. În 1750, Thomas Wright a considerat Calea Lactee drept un disc gigantic sau, după o expresie a sa, care a devenit binecunoscută, o „piatră de moară“, formată din stele. El considera că, în afară de Calea Lactee, în Univers mai există și alte „pietre de moară“. Astfel, pe cale speculativă, Wright a anticipat concepția modernă referitoare la sistemele stelare. Capitolul astronomiei stelare însă a luat ființă, așa cum s-a arătat și în partea istorică a lucrării de față, în perioada 1770—1780, cînd și-a început lucrările William Herschel. Despre această măreață disciplină, care cercetează structura stelelor și a sistemelor din care fac ele parte, astronomul român Gheorghe Demetrescu (1885—1969) scria, cu mult adevăr, într-una din cărțile sale, că este „capitolul în care mintea omului, atît de mărginit trupește, scurtează nemărginirea“. Marii înaintași — în această știință — William Herschel, John Herschel (1792—1871), William Struve (1793—1864), Joseph Johann von Littrow (1781—1840) sînt și rămiți de neuitat.

Prelucrarea primelor observații efectuate asupra repartiției stelelor pe bolta cerească a arătat limpede că numărul de stele pe unitatea de suprafață crește pe măsură ce ne apropiem de Calea Lactee. Pe baza observațiilor sale, W. Herschel a arătat primul, după cum am mai subliniat, că sistemul Căii Lactee formează un disc puternic turtit, avînd întinderea maximă de-a lungul ecuatorului galactic; azi, după aproape 200 de ani, știm bine că a avut dreptate. Teza lui Wright însă, referitoare la existența mai multor „pietre de moară“, deci a mai multor galaxii, răspîndite în spațiu sub forma unor adevărate insule, a fost respinsă în perioada 1860—1870. Abia în 1924 cînd Hubble a reușit să separe în stele părțile exterioare ale „nebuloaselor spirale“ —

presupuse extragalactice*, teoria „insulelor în Univers“ a renăscut și a devenit un fapt științific bine stabilit. În 1944. Baade a separat în stele partea centrală a „nebuloasei“ din Andromeda și a celor mai apropiate galaxii, confirmând din nou justetea teoriei „insulelor în Univers“. O mare parte a materiei din Univers, deci, este îngrămădită în adevărate insule — în general de forma lenticulară — în spațiul nemărginit. Dar, deși aceste insule constituie entități la scara Universului, ele au o structură complexă, în care materia ia două aspecte distincte: *aspectul stelar* și *aspectul difuz*. „Insula“ în care ne găsim — Galaxia — oferă desigur astronomilor cîmpul cel mai prielnic pentru cercetarea acestor forme.

În paragraful de față ne propunem să discutăm despre elementele fundamentale care intră în componența *materiei stelare*, prima formă la care ne-am referit: stelele. Vom rezerva paragraful următor materiei difuze.*

Stelele sînt sfere uriașe formate din plasmă. În această stare, la o temperatură înaltă, materia fiind ionizată este formată — sub aspect microcosmic — dintr-un amestec dezordonat de electroni liberi, ioni pozitivi și particule neutre (atomi sau molecule) într-o agitație permanentă. Adăugindu-se stărilor „pămîntești“ de solid, lichid și gazos, plasma este considerată ca fiind o a patra stare de agregare a materiei. Pornind de la faptul că o mare parte a materiei din Galaxie este concentrată în stele și aplicînd considerentul de mai sus tuturor galaxiilor cunoscute, o serie de cercetători apreciază că în partea accesibilă actualmente observați-

* Printre stelele pe care Hubble le-a separat, a descoperit stele variabile numite „cefeide“, care, după cum vom vedea, permiteau măsurarea distanței pînă la „nebuloasele extragalactice“ respective.

ilor din cuprinsul Universului un procent de peste 90% din materie se află în stare de plasmă.

Stelele sînt de diferite mărimi și de diferite vîrste. Starea fiecărei stele este determinată de o serie de mărimi — luminozitate, rază și masă —, precum și de compoziția chimică. Se cunosc stele foarte luminoase; astfel steaua S din constelația Pește de aur (Dorado) depășește de un milion de ori luminozitatea Soarelui. Există și stele cu o luminozitate foarte mică. Din această categorie face parte satelitul stelei Wolf 1055 (tot o stea) care e de 700 000 de ori mai puțin luminos decît Soarele. În general însă, luminozitățile stelelor sînt comparabile cu cea a Soarelui.

Între dimensiunile stelelor există de asemenea deosebiri, dar nu atît de mari; stelele Epsilon din constelația Viziui și VV din constelația Cefeu au o rază de aproximativ 2 000 de ori mai mare decît raza Soarelui. Steaua Kuiper are o rază de două ori mai mică decît cea a Pămîntului. Masele stelelor nu sînt cuprinse între limite prea îndepărtate; ele variază doar între o zecime din masa Soarelui și cîteva zeci de mase solare.

Stelele prezintă la suprafața lor diferite temperaturi; cele mai fierbinți (din clasa spectrală O) sînt stele albastre, atingînd temperaturi superficiale pînă la 40 000 de grade. Stelele cele mai reci (din clasa spectrală S) sînt stelele roșii, cu o temperatură la suprafața lor de circa 2000 de grade. Cel mai important procent din materia stelară este reprezentat de hidrogen și heliu. Numai un procent foarte mic din interiorul stelelor e reprezentat de alte elemente. Rotația stelelor în jurul axelor e diferită; stelele fierbinți se rotesc repede, în vreme ce stelele mai reci, printre ele și Soarele, au o rotație relativ lentă. În afara cîmpului gravitațional, stelele prezintă și un cîmp magnetic. Încă nu s-a reușit pe deplin să se stabilească vreo periodicitate a varia-

ției acestui cimp. Radiația stelelor poate fi împărțită, după natura ei, în radiație electromagnetică și radiație corpusculară. Stelele radiază în general pe toate lungimile de undă, de la cele foarte scurte (raze gamma, X etc.) la spectrul vizibil (lumina propriu-zisă) și până la lungimi de undă radio. Radiația corpusculară este foarte intensă la stelele fierbinți, nestabile, care expulzează neîntrerupt de la suprafața lor materia sub formă de nori de corpuscule. Stelele mai reci emană o cantitate mai mică de radiație corpusculară. Așa-numitul „vânt solar“ de pildă, cu obirșia în Soare, constituie o radiație corpusculară. Energia radiată de stele este de natură atomică, în interiorul lor avind loc un proces de transformare termonucleară a hidrogenului de heliu, prin eliberare de energie. Unele stele nu-și eliberează energia cu un debit constant; acestea sînt „stele variabile“, despre care vom vorbi în paragraful următor.

Am amintit mai sus despre luminozitatea stelelor și despre temperatura suprafeței lor. Cum s-au putut determina aceste mărimi fizice? Este locul potrivit să ne oprim pe scurt asupra citorva definiții fundamentale. Trebuie să precizăm aici diferite mărimi, pentru înțelegerea mai exactă a celor ce urmează. Prin *luminozitatea* unei stele (însemnată cu litera L și măsurată în ergi pe secundă) se înțelege cantitatea de energie luminoasă emisă de întreaga suprafață a stelei într-o secundă. Astfel, de exemplu, luminozitatea Soarelui (însemnată cu $L_{\odot}$) este de $3,8 \times 10^{33}$ erg/s. Dar, pentru a determina luminozitățile stelelor, singura soluție este să cercetăm stelele în cauză așa cum le vedem de pe Pămînt. Or, stelele se află la diferite distanțe de planeta noastră, incomparabil mai mari decît depărtarea Soarelui. De aceea, o stea cu o luminozitate cu mult mai mare decît a Soarelui, va apare pe cer destul de palidă dacă depărtarea ei este foarte mare; prin observații astronomice decî, vom putea

obține o mărime *aparentă*, pe care numai în urma unei „corecții de distanță” o vom transforma în mărime *reală*, care să caracterizeze *luminozitatea absolută* a unei stele. Pentru a ajunge la realitate, trebuie să plecăm de la *aparență*! De aceea, ne vom referi mai întâi la *mărimea aparentă* a stelelor sau, altfel spus, *magnitudine aparentă* (însemnată cu litera m).

Să considerăm două stele pe bolta cerească, în așa fel încât una să fie exact de 2,512 ori mai strălucitoare decât a doua. În mod arbitrar, considerăm intensitatea luminoasă a stelei mai slabe drept unitate. Intensitatea luminoasă a stelei mai strălucitoare va fi în acest caz 2,512. Două stele al căror raport de strălucire este 1 : 2,512 diferă în strălucirea lor cu 1 magnitudine. O a treia stea va fi cu 2,512 mai strălucitoare decât cea mai strălucitoare dintre primele două dacă este de $(2,512)^2$ ori mai strălucitoare decât cea mai slabă. Diferența între cea mai slabă și cea mai strălucitoare va fi de 2 magnitudini. Observăm deci că un rol important îl are exponentul numărului 2,512. Dacă acest exponent este fracționar, atunci și expresia care dă ordinul de magnitudine al stelei este fracționară. Să notăm cu I_1 și I_2 strălucirile a două stele oarecare și făcând raportul lor să notăm diferența

de magnitudine cu $m = m_2 - m_1$:
$$\frac{I_1}{I_2} = (2,512)^m \quad (1)$$

sau, logaritmiind

$$\log \frac{I_1}{I_2} = \log I_1 - \log I_2 = m \log 2,512 = m \cdot 0,400$$

deci

$$m = \frac{\log I_1 - \log I_2}{0,400} \quad (2)$$

S-a considerat numărul 2,512 tocmai pentru că logaritmul său este 0,400. Astfel se evită numerele incommensurabile.

Relația (1) reprezintă formula lui Pogson, care corespunde legii psiho-fiziologice a lui Weber-Fechner, o legătură între intensități aparente (excitații) și magnitudini $m = m_2 - m_1$ (senzații). Dacă convenim ca la magnitudinea 0 să corespundă intensității aparente 1, atunci formula (2) devine

$$m = -2,5 \log I. \quad (3)$$

Printr-o convenție internațională, s-a hotărît ca originea scării magnitudinilor aparente să se aleagă în așa fel, încît magnitudinea stelei polare să fie 2^m , 12. În practică, se întrebuințează o clasificare a stelelor după strălucirea lor aparentă introdusă încă de Hipparc înaintea erei noastre. Hipparc a grupat stelele vizibile cu ochiul liber în 6 clase de mărimi stelare. Cele mai strălucitoare stele le-a notat cu 0 și cele mai slabe vizibile cu ochiul liber le-a notat cu 6. Această clasificare corespunde oarecum cu magnitudinile aparente determinate prin metodele actuale. Astfel, cea mai strălucitoare stea de pe cerul nostru, Sirius, are mărimea stelară vizuală aparentă $-1^m,5$. Soarele are mărimea stelară vizuală aparentă $-26^m,9$, iar Luna plină $-12^m,6$. Steaua Vega din constelația Lira are magnitudinea $+0,14$. În prezent, cu telescoapele cele mai puternice și prin aplicarea fotografiei în astronomie, s-au putut observa stele și de magnitudinea $+23$. Clasele de magnitudini sînt împărțite în zecimi și în sutimi de magnitudini.

Spre deosebire de magnitudinea aparentă, în astronomie se folosește și *magnitudinea absolută* care, de obicei, se notează cu M . Această mărime convențională exprimă magnitudinile aparente care s-ar obține de pe Pămînt dacă toate corpurile cerești luminoase (inclusiv Soarele) s-ar găsi pe o sferă imaginară avînd Pămîntul în centrul ei și raza de 10

parseci. Numai considerind toate stelele la aceeași distanță de Pământ, am putea să obținem valori absolute; de pildă Soarele, privit de la 10 parseci, ne-ar apărea ca o stea de mărimea stelară +4,63, deci vizibil cu ochiul liber, dar puțin strălucitor. Așadar magnitudinea absolută a Soarelui este +4^m,63 în vreme ce — după cum am mai spus — magnitudinea sa aparentă (fiind foarte aproape de noi) este cea mai mare, adică —26^m,9. Magnitudinea absolută a unei stele (M) este în strinsă legătură cu luminozitatea ei (L). O relație matematică, asemănătoare cu formula lui Pogson, enunțată mai sus, exprimă această legătură:

$$M - M_{\odot} = -2,5 \frac{L}{L_{\odot}} \quad (4)$$

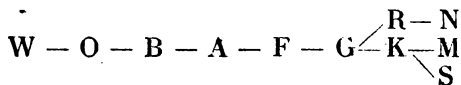
Cunoscind deci magnitudinea absolută a unei stele și a Soarelui, precum și luminozitatea Soarelui, formula (4) ne dă, printr-un calcul simplu, luminozitatea L a stelei respective. Dar, în formula de mai sus, $M_{\odot}$ și $L_{\odot}$ sînt bine determinate; de unde vom avea însă valoarea lui M? Pentru că, din observațiile directe asupra stelei nu putem obține decît magnitudinea aparentă m și nu magnitudinea absolută. De aceea s-a mai determinat o formulă, care face legătura între magnitudinea absolută și cea aparentă:

$$M = m + 5 + 5 \log.p. \quad (5)$$

Mărimea p este un unghi măsurat în secunde de arc, numit *paralaxă*, care exprimă distanța la care se află steaua respectivă față de Soare. Iată-ne așadar în măsură să înțelegem exact cum se determină luminozitatea stelelor: din observațiile astronomice directe se cunoaște magnitudinea aparentă m a stelelor. Cunoscîndu-se prin metode speciale, paralaxele lor, cu ajutorul formulei (5), prin calcul, se obțin

măgitudinile absolute. Acestea, introduse în formula (4) — unde $M_{\odot}$ și $L_{\odot}$ reprezintă totdeauna aceleași valori (constante) — se obțin luminozitățile L căutate. Or, am spus că luminozitățile stelelor sînt mărimi indispensabile pentru stabilirea stării fizice în care se găsește materia stelară. Lucrurile însă se complică dacă observăm faptul că formula (5) nu ne permite să ajungem la cunoașterea acestor luminozități fără a cunoaște paralaxele stelelor respective, adică fără a ști la ce depărtare se află ele de noi. Ia astfel naștere un alt capitol, deosebit de pretențios. Nu putem intra în detalii, dar ne vom convinge în următorul paragraf că, deseori, însăși stelele ne ajută — prin variația lor de strălucire — să le determinăm mai ușor depărtarea.

Dar, în afară de luminozitate, pentru cunoașterea stării fizice a stelelor mai este necesară evaluarea masei și a razelor lor, precum și stabilirea compoziției chimice. Masele și razele stelelor se determină, ca și depărtarea, în general prin metode indirecte. Compoziția chimică a suprafeței stelelor însă, se poate obține pe cale spectroscopică. De aceea vom vorbi mai jos de *tipul spectral* al materiei stelare. După aspectul spectrului lor, stelele au fost împărțite în 11 tipuri spectrale, schema ce urmează fiind dată de astronomii observatorului Harvard:



Fiecare tip spectral este împărțit în 10 subclase, numerotate de la 0 la 9, acestea fiind trepte de tranziție între două tipuri. Ordinea tipurilor spectrale corespunde temperaturilor descrescînd (de la tipul W spre tipul M) ale suprafețelor stelare și unei variații a culorii stelelor de la alb-albastru spre roșu.

În tabela ce urmează dăm cîteva din caracteristicile aproximative ale stelelor din aceeași clasă spectrală.

Tabela 1

Clasa spectrală	Culoarea	Indicele de culoare*	Temperatura medie superficială
O	albastre	—0,4	30000° și mai mult
B	alb-albastre	—0,2	25000
A	albe	0,0	11000
F	gălbui	+0,3	7500
G	galbene $\left\{ \begin{array}{l} \text{pitice} \\ \text{gigante} \end{array} \right.$	+0,6	6000
		+0,7	5200
K	portocalii $\left\{ \begin{array}{l} \text{pitice} \\ \text{gigante} \end{array} \right.$	+0,9	4500
		+1,0	4200
M	roșii $\left\{ \begin{array}{l} \text{pitice} \\ \text{gigante} \end{array} \right.$	+1,3	3600
		+1,5	3400
R	roșii	—	2000
N	roșii închise, gigante	+2,5	2500
S	roșii	—	2000

Am precizat deci două noțiuni foarte importante — luminozitatea și tipul spectral al stelelor — și putem face o combinație simplă cu ajutorul lor, pentru a obține deja unele

* Termenul **se** va explica ulterior.

rezultate semnificative privind structura materiei stelare. Este vorba de cunoscuta *diagramă spectru-luminozitate* — un grafic care reprezintă în abscisă tipul spectral (temperatura) și în ordonată luminozitatea stelelor — și care atestă faptul că stelele sînt foarte diferite ca mărime și densitate, precum și faptul că există mai multe căi de evoluție ale lor. În reprezentarea grafică amintită — cunoscută și sub numele celor care au întocmit-o prima oară, adică „diagrama Hertzsprung-Russel” — se observă că o mare parte din stele își au locul pe o diagonală care, de obicei, se numește „secvența principală”. Poziția Soarelui — notată cu o steluță — este în secvența principală.

Diversele grupări care se observă în diagrama H—R au permis astronomilor să stabilească faptul că, din punct de vedere a mărimii lor, stelele Galaxiei se împart în două mari categorii: *stele gigante* (sau uriașe) și *stele pitice*. La rîndul lor, aceste categorii se împart în subgrupuri, cum ar fi pentru gigante: supragigante, gigante și subgigante, iar pentru pitice: pitice și subpitice. Stelele gigante au densități foarte mici: astfel densitatea medie a giganteei Antares (din constelația Scorpionul) este de $0,0000014 \text{ g/cm}^3$, adică de o mie de ori mai mică decît densitatea aerului la suprafața Pămîntului. Stelele pitice sînt uneori extrem de dense; de exemplu pitica L 886 (din constelația Monoceros) are o densitate de 50 milioane de grame pe centimetrul cub. Pe Pămînt, un degetar „umplut” cu o astfel de materie ar cîntări 50 tone. Dăm, mai jos, un tabel cu parametrii citorva stele, grupate, conform diagramei H—R, în secvența principală și în seriile uriașelor, suprauriașelor și piticelor albe.

Se constată însă că stelele gigante sînt mai luminoase decît stelele pitice; astfel că, pot fi stabilite următoarele *clase de luminozitate*: *Ia* pentru supergigante luminoase, *Ib* pentru supergigante slabe, *II* pentru gigante luminoase, *III* pentru gigante normale, *IV* pentru subgigante și *V* corespunzătoare stelelor din secvența principală.

Tabela 2

Numele stelei	Masă M/M $\odot$	Lumino- zitate L/L $\odot$	Rază R/R $\odot$	Den- sitate medie g/cm ^{3}	Magni- tudine absolută (bolo- metrică) M $_{bol}$	Tem- pera- tura super- ficială °K	Clasa spec- trală
SECVENȚA PRINCIPALĂ							
ϵ Orionis	27	2 300	7	0,13	— 3,6	28000	O9
Spica	11	730	5	0,14	— 2,3	20000	B2
Vega	2,8	50	2,2	0,28	+ 0,6	12000	A0
Procion	1,2	5,8	1,8	0,28	+ 2,9	7000	dF5
Soare	1,0	1,0	1,0	1,41	+ 4,63	5760	dG2
ξ Bootis B	0,58	0,07	0,65	2,8	+ 7,7	4200	dK4
Krüger 60 A	0,30	0,003	0,41	6,3	+11,3	3000	dM3
URIAȘE							
Capella B	3,3	69	7	0,015	+0,2	6500	gF5
Capella A	4,2	111	12	0,0033	—0,3	5500	gG0
Arcturus	11	109	26	0,001	—0,2	4200	gK0
β Pegasi	14	310	141	0,000007	—1,4	3000	gM2
SUPRAURIAȘE							
Rigel	40	13 000	33	0,0014	—5,5	13000	cB8
Deneb	35	10 000	35	0,0011	—5,2	11000	cA2
Canopus	50	24 000	85	0,00011	—6,1	8000	eF0
Antares A	50	3. 100	328	0,0000014	—3,9	3200	cM0
PITICE ALBE							
40 Eridani B	0,31	0,003	0,016	110 000	+11,3	12500	B9
Sirius B	0,89	0,009	0,029	52 000	+10,0	9400	A6
van Maanen	0,12	0,0002	0,007	420 000	+14,3	8000	F0

Așa cum am mai arătat, punctul de pe bolta cerească în direcția căruia Soarele își execută mișcarea sa proprie printre stele poartă numele de „apex” solar. Acest punct se află în constelația **Hercules**, la aproximativ 10° de strălucitoarea stea **Vega** din constelația **Lira**. Toate stelele însă din jurul Soarelui, împreună cu acesta, situat într-o regiune nu prea mare din Galaxie, participă la o mișcare de translație în jurul centrului galactic, pe traiectorii aproximativ paralele. Un ocol complet al centrului Galaxiei este efectuat în aproximativ 250 milioane de ani. Acest interval de timp poartă numele de „an galactic” sau „an cosmic”. **Vârsta Pământului** — circa 6 miliarde de ani — este așadar de aproximativ 20—24 ani galactici. Cu alte cuvinte, de cînd există **Pământul și planetele**, **Soarele** a efectuat abia 20—24 ocoluri complete ale centrului Galaxiei. **Sistemul de corpuri cerești** care gravitează în jurul Soarelui (9 planete mari cu sateliții lor, asteroizii, curenții meteorici și norul de comete) acoperă o suprafață cu un diametru de circa 60 miliarde kilometri. Soarele este o stea „simplă”, adică el nu face parte dintr-un sistem foarte apropiat de stele, care toate să graviteze în jurul centrului lor comun de greutate. După aprecierile actuale însă, cel puțin 80% din stelele sistemului nostru stelar fac parte din sisteme de cîte două, trei sau mai multe stele. Acest lucru se evidențiază în special la stelele din planul galactic. Printre stelele triple și multiple se disting două tipuri de grupuri: în primul grup stelele nu au distanțe între ele de același ordin de mărime, în vreme ce în grupul al doilea (așa-numitul tip **Trapez Orion**), între stele distanțele sînt aproximativ aceleași.

Se disting în Galaxie și formațiuni complexe de stele, așa-numitele **roiuri** sau **îngrămădiri de stele**. Acestea sînt sisteme de stele fizic legate între ele, care se mișcă prin Galaxie ca un singur corp. Distingem două tipuri de roiuri stelare: deschise și globulare. **Roiurile deschise** (de exemplu

Pleiadele), nu au o formă bine determinată și conțin citeva zeci sau sute de stele, avînd diametre care variază între 6 și 50 ani-lumină. Se cunosc pînă în prezent în jurul a 500 roiuri stelare deschise. O formă sferică evidentă o au însă roiurile globulare (de exemplu cunoscutul roi din constelația Hercules), ale căror diametre sînt cuprinse între 130 și 300 ani-lumină. Densitatea stelară crește de la periferie spre interiorul roiului, astfel că, în centrul lor, se distinge un nucleu cu un diametru în genere de circa 60 ani-lumină. Un roi globular conține 5 000 pînă la mai mult de 1 000 000 stele îngrămădite în spații relativ mici, aproximativ sferice. În 1947 se cunoșteau deja 103 roiuri globulare, dintre care 95 foarte bine studiate.

După această succintă trecere în revistă a unor aspecte generale privind stelele „obișnuite“ de pe boltă, vom analiza, mai pe larg, o serie de stele speciale — stelele variabile — de altfel destul de numeroase pe cer. Două motive ne îndeamnă să le privim aici mai de aproape. Primul, de ordin teoretic, este însuși faptul că stelele variabile ne prezintă într-un mod vizibil *materia stelară în desfășurarea ei*. Dinamica stelelor variabile nu numai că ne informează asupra echilibrului sau dezechilibrului de forțe, mecanice și fizice, din interiorul stelelor, nu numai că înlesnește în astronomie determinarea unor mărimi necesare (de exemplu distanțe cerești), dar, prin această dinamică, putem întrezări aspecte ale evoluției stelelor. Mai mult, materia stelară în desfășurarea ei — bine conturată în cazul stelelor variabile — ne va apropia de convingerea, corespunzătoare realității obiective (la capitolul cosmologiei, vom mai vorbi despre acest lucru) că în Univers predomină principiul forțelor contrare, care se „încaieră“ reciproc, și nu „armonia desăvîrșită“ cum, în mod aparent, ne-ar sugera o privire superficială a bolții instelate. Al doilea motiv care ne face să insistăm asupra stelelor variabile este de ordin practic: anume, ținem seama de faptul că mulți astronomi-amatori sînt pasionați în observarea ste-

lelor variabile. Dar, înainte de a le observa, clasificarea și cunoașterea elementelor de bază din teoria stelelor variabile este necesară.

2. Stelele variabile

Variabile sînt considerate acele stele a căror *strălucire aparentă* prezintă variații. Strălucirea aparentă a stelelor se exprimă, după cum am văzut, în magnitudini. Așadar, stelele variabile prezintă variații ale magnitudinii lor. De exemplu, steaua α din Cassiopea își variază strălucirea între $2^m,1$ și $2^m,6$, iar steaua ξ din Gemeni între $3^m,7$ și $4^m,2$. Stelele variabile schimbîndu-și odată cu variația magnitudinii și tipul spectral, își schimbă temperatura superficială.

La stelele variabile se produc, concomitent cu variația magnitudinii, variații ale *vitezei radiale*. Prin viteză radială înțelegem viteza unei stele, de-a lungul razei vizuale. Variind viteza radială se produce o variație a lungimilor de undă ale liniilor spectrale ale stelei, conform cunoscutului efect Doppler-Fizeau. Notînd cu v viteza radială, cu c viteza luminii, cu $\Delta\lambda$ variația lungimii de undă și cu λ lungimea de undă proprie a radiației (în cazul în care distanța între stea și observator ar fi invariabilă) — relația care ne dă legătura între aceste cantități este următoarea:

$$\Delta\lambda = \frac{v}{c} \lambda \quad (6)$$

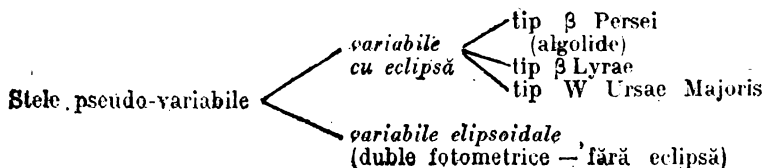
Relația de mai sus exprimă efectul Doppler-Fizeau. Măsurînd în spectrul stelei deplasarea $\Delta\lambda$ se determină viteza radială v . Dacă în spectrul stelei deplasarea $\Delta\lambda$ este înspre roșu, aceasta corespunde unei creșteri (îndepărtări) a distanței dintre stea și observator. Dacă deplasarea $\Delta\lambda$ este înspre violet, aceasta corespunde unei descreșteri (apropieri) a distanței dintre stea și observator.

După aceste câteva generalități indispensabile, să revenim la stelele variabile și să amintim cîte ceva din istoria lor. Primele stele variabile descoperite au fost de fapt *stelele noi* sau, după cum se mai numesc *novele*. De-a lungul veacurilor astronomii au observat mai degrabă apariția unor stele noi pe bolta cerească decît faptul că unele din stelele existente își schimbă mereu strălucirea. Cele mai vechi observații de stele noi le întîlnim în cronica chineză a lui Ma-Tuan-Lin care ne relatează despre novele ce s-au observat din timpurile cele mai vechi și pînă în anul 1203 din era noastră. În anul 1572, apare celebra „stea nouă” din Cassiopea, observată de către marele astronom Tycho Brahé. Prima stea variabilă cunoscută, care nu face parte din rîndul stelelor noi, a fost descoperită de către David Fabricius (1564—1617). La 13 august 1596, el a remarcat în constelația Balenei o stea de mărimea a 2-a, care slăbea mereu în strălucire, astfel că în octombrie a aceluiași an nu a mai fost vizibilă. Abia în 1609 el a observat-o din nou. I-a dat numele de Mira Ceti, ceea ce înseamnă „Minunea Balenei”. S-a arătat mai tirziu că amplitudinea oscilației acestei variabile (o Ceti) este de 8 mărimi stelare, fapt care a făcut pe Fabricius să o „piardă” temporar din vedere. La sfîrșitul secolului al XVIII-lea nu se cunoșteau decît 11 variabile și lista publicată de Friedrich Wilhelm Argelander (1799—1875) în 1850 cuprindea doar 24 de variabile. Introducerea tehnicii fotografice în cercetări a accelerat considerabil ritmul descoperirilor stelelor variabile. Numărul lor a depășit 700 în 1903 și 5 000 în 1930. Cunoscutul catalog de stele variabile publicat în 1948 de către sovieticii B. Kukarkin și P. Parenago conține 10 762 stele. Acest catalog e completat de mai multe suplimente anuale. Noile ediții apărute sînt considerabil mai cuprinzătoare.

Clasificarea generală. Stelele variabile au fost clasificate în două categorii, după natura (cauza) variației strălucirii

lor aparente. Astfel, distingem o categorie de stele pe care le vom numi *pseudo-variabile*, a căror variație a strălucirii aparente nu este datorită unor cauze fizice interioare ale stelei. Pseudovariabilele sînt de fapt stele duble fotometrice*, al căror plan cuprinde raza vizuală a observatorului. Astfel, din cauza translației însoțitorului în jurul stelei principale, sau a ambelor stele în jurul unui centru comun de greutate, pentru observatorul de pe Pămînt, a cărui rază vizuală coincide cu planul orbitelor acestor stele, se observă o eclipsare periodică a lor, care are drept efect variația strălucirii aparente a ansamblului dublei fotometrice.

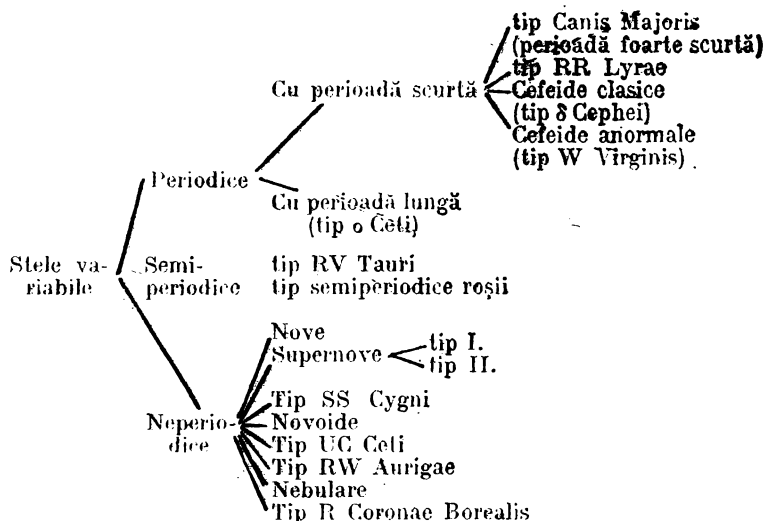
Pseudo-variabilele le vom împărți în subtipurile următoare:



A doua categorie o formează stelele variabile propriuzise, adică *stele variabile fizic* (variabile intrinseci), a căror variație a strălucirii aparente este datorată unor cauze de natură internă a stelei. Distingem foarte multe tipuri; se pare că actuala clasificare va mai avea de suferit unele modificări și completări. În general, stelele variabile propriuzise le împărțim în două categorii: I) stele variabile a căror variație a strălucirii este periodică și II) stele variabile ce nu-și variază periodic strălucirea. La rîndul lor, aceste două categorii dispun de subclase de tipuri caracteristice. Iată o

* Adică o stea dedublabilă prin metode de fotometrie.

schemă generală aproximativă a clasificării stelelor variabile propriu-zise:



I. a. *Variabilele cu eclipsă*. Acestea sînt stele binare (duble), ale căror componente sînt foarte apropiate una de alta, astfel că nici cu cele mai puternice aparate nu pot fi distinse separat, ci se confundă într-una singură, planul orbitei lor este aproape confundat cu direcția razei noastre vizuale. Pentru ochiul observatorului, aceste duble — zise fotometrice — prezintă periodic eclipse totale sau parțiale, atunci cînd una din componente, trecînd între noi și cealaltă componentă, o acoperă total sau parțial. Neavînd posibilitatea să distingem cele două componente, observăm, de fapt, o variație periodică a strălucirii aparente a stelei, pe care dacă o reprezentăm, pe un grafic pîrtînd timpul în ab-

scisă și magnitudinea aparentă în ordonată, obținem ceea ce se numește *curba de lumină* a stelei variabile respective. Perioada curbei corespunde cu perioada de revoluție a sistemului dublu. Variabilele cu eclipsă, nefiind separabile vizual, sint însă separabile spectroscopic. Spectrele multor duble fotometrice se suprapun și, astfel, metoda de cercetare a lor rămâne tot metoda fotometrică a curbei de lumină.

Una dintre clasificările stelelor binare a fost dată, mai recent, de către cercetătorul cehoslovac Z. Kopal: sisteme detașate, sisteme semidetașate și sisteme în contact. Această clasificare are importanță deosebită în studiul stelelor duble. În ultimul deceniu cercetarea intensă a binarelor cu eclipsă a contribuit mult la clarificarea unor aspecte legate de spinosa problemă a evoluției stelelor.

Distingem mai multe tipuri de stele variabile cu eclipsă: — *Algolidele*. Prima variabilă cu eclipsă descoperită a fost steaua β Persei (Algol), descoperită ca variabilă în anul 1670*. Aceste tipuri de stele au fost denumite „algolide” după steaua Algol. Curbele de lumină ale lor au un contur discontinuu, presărate alternativ cu minime principale și minime secundare. Peste 75% din variabilele cu eclipsă sint algolide. Perioadele lor cele mai frecvente sint cuprinse între 2 și 3 zile. Variabila de acest tip cu cea mai scurtă perioadă cunoscută este UX Ursae Majoris cu o perioadă de 4^h43^m . Cea mai lungă perioadă în acest tip aparține stelei ϵ Aurigae, cu o perioadă de 27 ani. În cazul stelei ϵ Aurigae, una din componente este eclipsată de către atmosfera stelei supragigante din sistemul respectiv.

Steaua Algol (β Persei) are o perioadă de variație a strălucirii aparente de 2,9 zile și o amplitudine a minimului principal de 1,3 magnitudini.

— *Variabilele de tip β Lyrae*. Sint cunoscute în jurul a 150. La aceste variabile, stelele componente au formă elip-

* De fapt, încă arabii remarcaseră variațiile ei de strălucire.

soidală, datorită efectului de maree, și astfel strălucirea lor variază continuu și în afara eclipselor. Curba de lumină la aceste stele are o formă continuă, minimele și maximele fiind rotunjite. Minimul secundar la aceste stele este mai puțin pronunțat decât cel primar, mult mai pronunțat și mult mai vizibil decât la albolide. Perioada de strălucire la acest tip este cuprinsă între o jumătate de zi pentru steaua BS Vulpeculae și peste 200 zile pentru steaua W Crucis. Amplitudinea minimului acestor stele depășește rar 1,5 magnitudini.

Pentru steaua β Lyrae perioada este de 12,9 zile, amplitudinea minimului principal de 0,9 magnitudini și a celui secundar de 0,4 magnitudini.

Variabilele de tip W Ursae Majoris. La aceste variabile, minimul secundar devine în amplitudine egal cu minimul principal. Perioadele în general sînt scurte cu un maximum de frecvență de cîteva ore. Amplitudinile mijlocii ale minimeleor sînt în jurul a 0,6 magnitudini. Pentru steaua W Ursae Majoris perioada este de 8 ore (perioada între un minim secundar și unul principal fiind de 4 ore), amplitudinea minimului fiind de 0,6 magnitudini. Variabilele de acest tip au ambele componente egale în strălucire și foarte elipsoidale. În general, aceste sisteme sînt constituite din stele ce se aseamănă Soarelui.

I. b. *Variabilele elipsoidale.* Componentele acestor variabile sînt și ele eliptice. La aceste stele însă, planul orbital diferă oarecum de raza vizuală a observatorului; este suficient de înclinat pentru a nu se produce eclipsa. Se eclipsează, numai atmosferele lor. Astfel, în timpul revoluției, suprafața aparentă a celor două stele, adică strălucirea totală, variază constant, cu o amplitudină foarte redusă.

Stelele variabile cu eclipsă permit să le determinăm perioada variației strălucirii aparente și curba de lumină. Din aceste două date, se pot deduce parțial elementele orbitei dublei fotometrice respective. Primul element al orbitei cunoscut de la început este tocmai perioada P a orbitei du-

blei fotometrice, care coincide cu perioada variației strălucirii aparente a variabilei. Dar, în urma calculelor, se obțin și alte elemente, ca raportul razelor componentelor etc.

II. *Variabilele periodice intrinseci.* Acestea le împărțim în mai multe subtipuri, pe care le vom analiza în cele ce urmează:

a) *Variabilele periodice cu perioadă scurtă.* Și aici distingem mai multe tipuri: cu perioadă foarte scurtă, tip RR Lyrae, cefeide clasice și cefeide anormale.

— *Variabile cu perioadă foarte scurtă.* Sînt cunoscute în prezent cîteva astfel de variabile ce se caracterizează printr-o perioadă foarte scurtă ce nu depășește 6 ore. Toate aceste variabile sînt relativ strălucitoare. Ele se caracterizează prin spectre care corespund tipurilor stelare B_1 și B_2 . Magnitudinile absolute ale stelelor sînt cuprinse între -3 și -5 . În diagrama spectru-luminozitate ele se situează în secvența principală. Amplitudinile variațiilor în strălucire sînt foarte mici — în jurul cîtorva fracțiuni de magnitudine. Vitezele radiale însă variază în limite largi. Variațiile acestora cunosc o altă perioadă, apropiată de perioada variațiilor strălucirii aparente. Combinarea celor două perioade produce o a treia perioadă, care durează mai multe zile. La unele variabile de acest fel, liniile spectrale își schimbă periodic intensitatea și lărgimea lor sau se dedublează timpul de maxim al vitezei radiale. Multe proprietăți ale variabilelor de acest tip încă nu sînt suficient explicate.

— *Variabile de tip RR Lyrae.* Ele se întîlnesc foarte des, în număr mare, în îngrămădirile globulare de stele. Din acest motiv, ele se mai numesc „variabile de îngrămădiri“. Stelele variabile de tip RR Lyrae sînt animate de viteze considerabile. Curba de lumină este asemănătoare curbei de lumină a cefeidelor, însă perioada este foarte scurtă. Cea mai scurtă perioadă din acest tip aparține variabilei CY Aquarii, cu o durată de $1^h 28^m$ între două maxime succesive. Perioada suferă uneori mici variații, care și ele pot fi fie periodice fie neregulate. Magnitudinea absolută a acestor tipuri este în

jurul valorii zero. Cea mai strălucitoare variabilă de tipul RR Lyrae are o perioadă principală de 13^h36^m , însoțită de o perioadă secundară cu 11 minute mai scurtă. Din combinația acestora rezultă o a treia perioadă de 41 zile. O descoperire a lui Babcock arată că sensul cimpului magnetic intern al acestei variabile se schimbă de la o zi la alta; se pare că și forma sa se modifică.

— *Cefeidele clasice*. Numele lor, devenit celebru, provine de la steaua δ Cephei, prototipul acestei categorii de variabile. Ea este cunoscută de două secole, fiind o stea variabilă mult studiată. Cefeidele joacă în prezent un rol primordial în cercetările referitoare la cunoașterea structurii Universului, deoarece, mai ales cefeidele clasice, sînt foarte numeroase în marile concentrații galactice. Curba de lumină se caracterizează printr-o creștere rapidă a strălucirii aparente și apoi o descreștere destul de lentă. Amplitudinea de variație a strălucirii este inferioară unei magnitudini stelare (fig. 41). Perioada cefeidelor clasice este cuprinsă între 2 și 45 zile, cele mai multe avînd o perioadă cuprinsă în jurul a 5 zile. În cursul variațiilor de strălucire, spectrul se schimbă continuu, steaua fiind întotdeauna de un tip foarte avansat la minimum.

Indicele de culoare al cefeidelor variază și el, ceea ce arată că temperatura la suprafață variază, în timpul unei perioade, aproximativ cu o mie de grade. Cefeidele sînt caracterizate de anumite legi statistice. Forma curbelor de lumină variază odată cu perioada. Pentru cele cu perioadă lungă și variația spectrală este mare, atîngînd o clasă la o perioadă de 40 zile; le corespund succesiv clasele spectrale F, G, K. Proprietatea cea mai importantă a cefeidelor însă este descoperirea făcută de Henrietta Leavitt și anume faimoasa relație perioadă-luminozitate. Între perioada cefeidelor și luminozitatea lor, există o legătură strînsă. Cunoscîndu-se perioada unei cefeide, se deduce prin calcul mărimea ei absolută și prin urmare distanța pînă la ea. Cefeidele sînt stele supragigante. O astfel de stea, cu o perioadă de 10 zile,

este de mii de ori mai luminoasă decât Soarele. După cum vom vedea, fluctuațiile cefeidelor provin, după părerea lui Arthur Stanley Eddington (1882—1944), din pulsațiile la care este antrenat astrul, contractindu-se și dilatăndu-se alternativ. Rezultă astfel o mișcare continuă a suprafeței, care se traduce printr-o variație periodică a vitezei radiale, observată efectiv. Sensul acestei variații fiind însă în dezacord cu teoria lui Eddington, teoria pulsațiilor a trebuit să fie perfecționată de către Martin Schwarzschild.

— *Cefeidele de tip W. Virginis*. Există câteva cefeide din Galaxie care au perioada și amplitudinea analogă a cefeidelor clasice, însă curba lor de lumină are altă formă. Ele sînt cefeide anormale (neobișnuite), pentru că sînt depărtate de planul galactic și prezintă o evoluție spectrală aparte. Liniiile hidrogenului, înspre maxim, apar ca linii de emisie. Cele de absorbție suferă dedublări periodice, fenomen ce nu are loc în cazul cefeidelor clasice. Steaua variabilă, cefeida anormală W. Virginis posedă o curbă de lumină care are o proeminență în partea descendentă. Acest lucru o deosebește de cefeidele clasice de aceeași perioadă cu W. Virginis. Latitudinea ei galactică este de 57° . Cefeidele anormale, întocmai ca și variabilele de tip RR Lyrae, aparțin populației a II-a stelare și se întîlnesc în număr mare în galaxiile eliptice (clasificarea galaxiilor este dată la capitolul care privește Metagalaxia), ca și în nucleele celor spirale. Astfel de variabile se întîlnesc și în îngrămădirile globulare de stele.

Caracteristici generale ale cefeidelor. Iată principalele caracteristici generale ale cefeidelor:

1. Variații luminoase continue și regulate, durata de creștere a strălucirii mult mai scurtă decât cea de descreștere.
2. Clasa spectrală are variații periodice, paralele cu variația luminoasă; culoare mai roșie la minim decât la maxim.
3. Variații periodice ale vitezei radiale, adică apropieri și îndepărtări ale suprafeței stelei de noi. Aceasta înseamnă variații periodice ale razei (sau diametrului) stelei.

Relația perioadă-luminozitate. S-a arătat că cefeidele sînt foarte numeroase în regiunile cerești bogate în stele și mai cu seamă în roiurile stelare. Henrietta Leavitt, de la Observatorul Harvard, studiind, prin jurul anului 1912, cefeidele — circa 100 la număr — din Micul Nor al lui Magellan, a constatat că perioadele de variație luminoasă ale acestora cresc proporțional cu mărimile aparente. H. Shapley cercetînd la Observatorul de pe muntele Wilson, cu telescopul de 2,5 m diametru, cefeidele din mai multe roiuri globulare, a confirmat cercetările Henriettei Leavitt. Reprezentînd grafic rezultatele găsite, purtînd în abscisă logaritmul perioadei și în ordonată magnitudinile aparente, s-a ajuns la concluzia că cefeidele cu perioade mai mici de o zi au toate aproximativ aceeași mărime aparentă, iar pentru cefeidele cu perioade mai lungi de o zi s-a găsit o reprezentare de forma unei drepte. După prelucrarea matematică a acestui rezultat, Shapley a obținut o legătură între mărimea stelară absolută M a unei cefeide și perioada P , dată de simpla formulă.

$$M = A + B \log P \quad (7)$$

în care A și B sînt constante.

Această relație este de o extremă importanță pentru cunoașterea structurii Universului. În ceea ce privește cefeidele cu perioada mai mică decît o zi, se găsește că ele au aceeași mărime absolută M . Lucrul este explicabil. Cercetările au arătat că, cu cît perioada P a variației de lumină a cefeidelor este mai mare, cu atît ele au străluciri mai mari și viteze lineare mai mici și cu atît ele sînt mai gigante sau chiar supragigante. Cefeidele cu perioade $P < 1$ zi, au străluciri mici și mișcări rapide. Cu alte cuvinte, este probabil ca ele să fi ajuns cu toate la o stare fizică asemănătoare, deci cu aceeași mărime absolută M .

Relația periodică-spectru. Cefeidele se mai caracterizează și printr-o relație între perioada P de variație luminoasă și tipul lor spectral mijlociu. S-a dovedit că cu cît perioada este mai lungă, cu atît cefeida aparține unui tip spectral mai

întârziat și are o temperatură mai coborită la suprafață. Legătura aceasta se verifică și pentru variabile de tip RR Lyrae, precum și pentru variabile cu lungă perioadă.

Variațiile de temperatură la suprafața cefeidelor. S-a stabilit că, în general, când temperatura unei stele crește, se mărește și strălucirea monocromatică (într-o singură lungime de undă) a stelei, în regiunile spectrale albastru și galben. Mai mult, proporția de lumină monocromatică în albastru și galben variază cu temperatura superficială a stelei. Dacă E_a este energia radiației în albastru și E_g energia radiației în galben, se dovedește că cu cât o stea este mai fierbinte, cu atât raportul E_a/E_g este mai mare. Cefeidele au acest raport variabil și, ca atare, temperatura lor superficială (a straturilor exterioare ale stelei) variază. Pentru variabila δ Ceph s-a găsit că temperatura superficială variază între $6\,600^\circ$ și $5\,300^\circ$. Practic, maximum și minimum temperaturii cefeide coincid cu maximum și minimum strălucirii aparente. Se presupune că variația strălucirii aparente se datorește mai cu seamă variației temperaturii superficiale.

Relații între perioadă, rază și densitate. Dacă notăm cu P perioada de variație a strălucirii aparente, exprimată în zile și cu R raza stelei exprimată în kilometri, pentru cefeide se verifică următoarea relație între perioadă și rază:

$$R = 4 \times 10^4 P. \quad (8)$$

Cu alte cuvinte, raza medie a cefeidei este direct proporțională cu perioada de variație. Cu cât perioada unei cefeide este mai mare, cu atât ea este mai gigantă. O relație de același gen există și între perioadă și densitatea stelei.

Raza unei cefeide. În variația ei de temperatură superficială o cefeidă trece de două ori — în timpul unei perioade — prin aceeași temperatură superficială; o dată în partea ascendentă a curbei de lumină și a doua oară în partea ei descendentă. Considerăm 2 faze Q_1 și Q_2 ale curbei de lumină corespunzătoare aceleiași temperaturi în timpul aceleiași

perioade. Aceste faze însă nu sînt în același timp și faze de egală strălucire aparentă. Cu ajutorul curbei de lumină, se poate însă determina diferența de magnitudine $m_2 - m_1$, corespunzătoare fazelor Q_1 și Q_2 izoterme. Diferența $m_2 - m_1$ este proporțională cu raportul R_1^2/R_2^2 . De aici se obține raportul razelor suprafețelor de radiație R_1/R_2 . Pe de altă parte, se constată că viteza radială a cefeidelor variază și ea periodic; de aici se deduce diferența $R_1 - R_2$. Cunoșcînd raportul și diferența dintre razele cefeidei la fazele Q_1 și Q_2 , se determină razele corespunzătoare R_1 și R_2 .

Pentru steaua δ *Cephei*, s-a găsit raza mijlocie de 25×10^6 km, ceea ce corespunde unei supragigante. Distanța pînă la această supragigantă se apreciază la 800—900 ani-lumină. În general, cefeidele sînt stele supragigante.

Teoria pulsației cefeidelor. Pentru explicarea variației luminoase a cefeidelor, au fost formulate mai multe ipoteze. Mai întîi, această variație a fost explicată prin teoria eclipselor, presupunîndu-se că e vorba de stele duble, dintre care una strălucitoare și alta obscură sau puțin luminoasă. Aceste stele învîrtindu-se una în jurul alteia, se eclipsează periodic și produc astfel variația luminoasă. Explicația aceasta însă nu corespundea, întîmpinînd dificultăți. Observațiile spectroscopice indicau că este vorba de o schimbare a stării fizice a stelei și nicidecum de o simplă eclipsare. S-a emis apoi ipoteza unor pete pe suprafață, asemănătoare petelor solare, care aduse periodic în fața noastră, prin rotația stelei, ar produce variații luminoase periodice. Și această ipoteză a întîmpinat greutăți! Ipoteza cea mai satisfăcătoare aparține, după cum am spus, lui Eddington și este cunoscută sub numele de „ipoteza pulsației cefeidelor”. După părerea lui, cefeidele suferă dilatări și contractări periodice — pulsații — care de fapt explică foarte bine variațiile vitezei radiale și relația perioadă-luminozitate, precum și variația periodică a tipului spectral.

Azi se admite că pulsația cefeidei are loc în păturile externe ale stelei, fără ca nucleul să sufere transformări. Atmosfera,

care pulsează, a acestor stele conține hidrogen, precum și heliu mono și dublu ionizat.

Cefeidele au o importanță deosebit de mare în determinarea distanțelor la corpurile cerești foarte îndepărtate, cum ar fi roiurile globulare ale Galaxiei sau alte galaxii, „insule” în Univers. Să revedem formula (7), formulă matematică de legătură între mărimea stelară absolută M a cefeidelor și perioada lor P de variație a mărimii stelare aparente. În 1918, Shapley a determinat coeficienții A și B . Determinările lui însă erau afectate de erori, din cauza aproximațiilor la care a recurs. În jurul constantei A s-au dus multe discuții. Aceasta pentru că, în funcție de constanta A , sint corecte sau nu o serie de distanțe cerești importante, determinate prin observarea cefeidelor. Iată principiul metodei de determinare a distanțelor cerești cu ajutorul cefeidelor. Observându-se cefeidele dintr-un roi sau dintr-o altă galaxie, se determină din observații curba de lumină (mărimea aparentă m) și perioada P . Cunoscând perioada P și având determinate valorile constantelor A și B , formula (7) ne dă mărimea stelară absolută M . Folosind valoarea lui M , cu ajutorul formulei (5), cunoscută sub numele de formula magnitudinilor absolute, obținem distanța D , exprimată prin paralaxa p'' :

$$5 \log p'' = M - (m + 5) \quad (9)$$

Pe această cale, Shapley a determinat distanțele multor roiuri, determinind de fapt paralaxele cefeidelor ce le conțin, prin măsurarea perioadei P din curba lor de lumină. Astfel, dintre roiurile globulare măsurate s-a găsit că roiul globular cel mai apropiat de noi se află în constelația Centaurul, la o distanță de 20 000 ani-lumină și cel mai depărtat roi este roiul N.G.C. 7006, la distanța de 220 000 ani-lumină. În 1952 însă, la Romă, a avut loc a VII-a Adunare generală a Uniunii Astronomice Internaționale. La această întrunire științifică, astronomul Walter Baade (1893—1960) a anunțat un fapt cu totul neașteptat: toate distanțele cerești ale roiurilor galactice și toate distanțele extragalactice, determinate

cu ajutorul cefeidelor, trebuie dublate. El anunța că ordonata ramurii cefeidelor trebuie mărită cu cantitatea negativă —1M,5. Înseamnă că, dacă pînă atunci se reușise să se obțină în Univers distanța pînă la 1 miliard de ani-lumină, acestea însumau în realitate 2 miliarde ani-lumină. Cercetările lui Baade erau întemeiate pe observațiile ce le făcuse cu marile telescoape de pe Muntele Wilson și Muntele Palomar. În determinarea distanțelor corpurilor cerești îndepărtate, Baade s-a folosit de expresia $m - M$, denumită „modul de distanță”, în care m — magnitudinea aparentă a obiectului — este rezultată din observații directe, iar M — magnitudinea absolută a obiectului — este obținută pe baza formulei (7). După Shapley, un alt astronom, anume Edwin Powel Hubble (1889—1953), a determinat distanțele pînă la galaxiile cele mai apropiate de a noastră, cu ajutorul modulelor $m - M$ ale cefeidelor aflate în mare număr în aceste galaxii.

În sfîrșit, pentru galaxiile foarte îndepărtate, în care nici stelele supragigante nu se mai disting, distanțele au fost obținute pe criteriul magnitudinii absolute a galaxiilor respective, considerate ca un tot. Observăm deci că *toate distanțele galaxiilor îndepărtate au la bază primele măsurători ale galaxiilor vecine cu noi, determinate cu ajutorul cefeidelor. Dacă aceste măsurători nu sînt corecte, toate celelalte determinate ulterior sînt greșite.* Baade s-a ocupat de galaxia din Andromeda, denumită și *Messier 31* (după catalogul astronomului Messier) — notată pe scurt *M 31* — împreună cu sateliții ei *Messier 32* și *NGC 205*. Galaxia *M 31* este cea mai apropiată galaxie de mari dimensiuni de Galaxia noastră. După ce a examinat un mare număr de cefeide din interiorul ei, a obținut prin calcul o distanță de 750 000 pînă la 800 000 ani-lumină. Un studiu aprofundat al absorbției luminii în direcția acestei galaxii a făcut să se prefere modulul $m - M = 22,4$. În aceste condiții, cefeidele de tip RR Lyrae trebuie să apară pe placa fotografică de mărime aparentă $\mu_m = 22,4$, pentru că ele — după cum am spus — au toate aceeași mag-

nitudine absolută $M = 0$ (după cum a arătat Shapley). Calculul însă au arătat că telescopul de pe muntele Wilson, cu diametrul oglinzii de 2,54 m, poate atinge magnitudini fotografice aparente până la $m = 21,5$. Telescopul instalat pe muntele Palomar însă, cu diametrul oglinzii 5,08 m, poate atinge magnitudini fotografice aparente până la $m = 23$. Cu alte cuvinte, era de așteptat ca — privind galaxia din Andromeda cu cele două telescoape — cel de pe muntele Wilson să nu poată identifica în această galaxie variabile de tip RR Lyrae, în vreme ce cu ajutorul telescopului de pe muntele Palomar cefeidele în cauză să poată fi identificate. Spre surpriza cercetătorului, Baade nu a descoperit cefeide de tip RR Lyrae nici cu ajutorul telescopului de 5,08 m diametru de la Palomar. A descoperit în schimb variabile de perioadă lungă, de tip Mira Ceti. S-a tras concluzia că modulul de distanță nu era corect și că trebuia considerat modulul $m - M = 23,9$. Astfel s-a dovedit că coeficientul A al lui Shapley nu este corect determinat și distanțele stabilite pe baza măsurării perioadei cefeidelor trebuie dublate. Alți astronomi însă determinând pe alte căi observaționale coeficienții A și B , au constatat că, de pildă, coeficientul A nu depășește valoarea -1 pentru cefeide de perioadă lungă, susținând astfel că, de fapt, distanțele extragalactice nu trebuie dublate, după cum a afirmat Baade, ci mărite cu 1,5 ori. Intrarea recentă în funcțiune a celui mai mare telescop actual din lume — telescopul sovietic instalat în Munții Caucaz — cu diametrul oglinzii principale de 6 metri, va aduce probabil mai multă lumină în problema discutată. Iată, așadar, cite servicii au făcut cefeidele astronomiei! Ele ne-au dat primele determinări ale depărtărilor la care se află galaxiile, așa încît au devenit stelele variabile cele mai celebre. Totuși, astăzi se pare că această „celebritate“ este întrucitva umbrită de către o speță în totul deosebită de variabile: „pulsarii“. Despre ei însă vom vorbi la capitolul consacrat descoperirilor de „ultimă oră“.

b) *Variabilele periodice cu perioadă lungă.* O altă categorie de stele variabile periodice o formează variabilele cu o perioadă lungă, cuprinsă între 90 și 760 zile, cu maximum de frecvență apropiat de 275 zile. Amplitudinile lor sînt considerabile, cu mult mai mari decît la cefeide, fiind cuprinse între 1,5 și 8 clase de magnitudini. Amplitudini mari există în general la perioade lungi. Este cazul la stelele uriașe sau supra-uriae roșii, avînd în majoritate tipul spectral M. Liniile de emisie sînt ale hidrogenului și în timpul maximului au linii metalice. Toate spectrele lor sînt avansate, de tipurile M, R, S și N, cu benzi puternice de absorbție date de oxidul de titan sau de zirconiu. Cînd strălucirea crește, liniile hidrogenului și cele metalice devin linii de emisie intense. Perioadele lor nu sînt chiar constante și curbele de lumină diferă de la o perioadă la alta. Ele verifică relația perioadă-spectru. Temperatura superficială a acestor variabile este deosebit de joasă, fiind cuprinsă între 2000° și 4000° . În timpul variației luminoase, are loc și o variație a temperaturii superficiale a stelei, a cărei amplitudine atinge aproximativ 600° . Aceste rezultate ne sînt date de spectrele respective.

Variabila tip, de lungă perioadă, este prima variabilă descoperită, despre care am vorbit în introducerea lucrării și anume *Mira Ceti* sau steaua omicron din constelația Balena. Cu ochiul liber, această variabilă devine uneori cea mai strălucitoare stea din constelația Balena, pentru ca alteori să dispară complet și să nu fie vizibilă decît cu ajutorul instrumentelor. Perioada variației luminoase este de 11 luni. Strălucirea maximă este de mărimea stelară 3, iar la minimum atinge mărimea stelară 10. Cînd cînd paralaxa stelei *Mira Ceti* și pe baza măsurărilor interferometrice, s-a determinat diametrul acesteia, ce atinge aproximativ 300 diametri solari. Este probabil că și la această clasă de variabile să întîlnim fenomenul pulsațiilor. S-a arătat că liniile de emisie din timpul maximului se datoresc unor erupții de gaze fierbinți din interiorul stelei, iar răcirea lor în straturile superioare

provoacă curenți de nori, care produc neregularitățile perioadei.

c) *Variabile semi-periodice*. Putem împărți aceste variabile în două tipuri:

1. — *Variabile de tip RV Tauri*. În anumite perioade, curba lor de lumină are maximele aproape egale, iar minimele în mod alternativ primare și secundare, primele accentuate, ultimele slabe. În alte perioade, dimpotrivă, curba de lumină își pierde forma caracteristică și devine neregulată. Tipul spectral variază în același fel ca și la cefeide.

2 — *Variabile semi-regulate roșii*. Sînt variabile numeroase și se recunosc prin faptul că au o perioadă fundamentală de durată asemănătoare cu a variabilelor de perioadă lungă, însă în cursul anumitor intervale prelungite ele pierd cu totul din regularitate.

d) *Distribuția variabilelor periodice*. Rezultate semnificative se obțin dacă pe un grafic se așază în abscisă logaritmul perioadei variabilelor, iar în ordonată procentul variabilelor de aceeași perioadă. Rezultă o curbă care indică cinci regiuni distincte:

- I. Prima regiune, situată în jurul perioadei de 0,5 zile, reprezintă cefeidele cu perioadă foarte scurtă, tip RR Lyrae.
- II. Regiunea a doua, situată în jurul perioadei de 7 zile, cuprinde cefeidele clasice.
- III. Regiunea a treia, situată în jurul perioadei de 16 zile, reprezintă cefeidele anormale de tip W. Virginis.
- IV. Regiunea a patra, situată în intervalul cu o perioadă de la 45 la 90 zile (un maximum nu prea pronunțat), cuprinde variabile semi-periodice.
- V. Regiunea a cincea, cu maximum cel mai pronunțat, peste 90 %, reprezintă clasa variabilelor de lungă perioadă, tip Mira Ceti, cu perioadele cuprinse între 275 și 300 zile.

III. *Variabile neperiodice.* Aceste variabile cuprind tipuri cu caracteristici foarte diferite și cu perioade neregulate. Ele sînt de un foarte mare interes, mai ales dacă ne referim la nove și supranove. Unele dintre aceste variabile rămîn constante în strălucire un număr de ani, ca apoi brusc strălucirea lor să urce spre un maxim (tip U. Geminorum) sau, tot brusc, să coboare spre un minim. Ele constituie o categorie de stele care sînt situate pe lingă nebuloasele gazoase din Galaxie, variația strălucirii lor datorîndu-se probabil unor nori obscuri care le eclipsează temporar. Să amintim pe rînd principalele tipuri de variabile neperiodice.

a) *Novele.* Starea normală a novelor corespunde minimului de strălucire. Steaua este la început o *prenovă*, foarte puțin strălucitoare și cu fluctuații mici în strălucire. Ea crește apoi brusc în strălucire, cu mai multe clase de magnitudini într-un timp record, uneori de cîteva ore. După un maximum puternic, urmează o scădere uniformă și intrucîtva lentă a strălucirii, presărată cu mici oscilații, ca apoi, după un timp, să ajungă din nou la strălucirea inițială, devenind o *steenovă*. Distingem mai multe categorii de nove:

1. Nove rapide — tip Nova Aquilae 1918
2. Nove lente — tip Nova Picturis 1925
— tip Nova DQ Haerculis
3. Nove tip RT Serpentis
4. Nove recurente — T. Coronae Borealis
— RS Ophiuchi

Nova din Perseu 1901 pare să fi fost un tip de novă rapidă. Descoperită la 21 februarie 1901, de către Andersen din Edinburgh, ca o stea de magnitudinea 2—3, la 23 februarie atinsese deja mărimea zero. Dintr-o constatare fotografică a lui Williams, această stea, la 28 ore înainte de descoperire, era în jurul mărimei 11 și, cu 48 ore înainte de descoperire, era de mărimea 12. În locul acestei nove s-a stabilit că înainte era o stea slabă, de mărimea 12—14. Lumina ei a crescut mai întîi repede în intensitate, ca apoi să descrească

relativ încet, pînă la mijlocul lunii martie 1901, cînd a început o variație regulată, în strălucire, cu o perioadă de 4 zile. La primele variații, maximele au durat ceva mai mult decît minimele, iar prin aprilie 1901 fenomenul s-a inversat, minimele durînd mai mult decît maximele. Cercetările spectroscopice au arătat să spectrul era continuu, de tipul F—A, cu părți strălucitoare în violet și albastru. Spectrul analizat la observatoarele din Potsdam și Harvard conținea aproximativ 30 linii întunecate ale magneziului, hidrogenului și siliциului; liniile calciului erau intense. Inițial linii strălucitoare de emisie aproape nu existau, dar ele au apărut prin 24 februarie și erau ale hidrogenului, fierului, titanului etc. Fondul spectrului era puternic în roșu, cu benzi de emisie. La sfîrșitul lui martie, spectrul a devenit de clasele O—B și pînă la urmă a ajuns de tipul O. În timpul minimului, la 6 aprilie, Gothard a recunoscut în spectru liniile caracteristice nebuloaselor NGC 5007 și NGC 4959. Apoi tipul spectral a devenit P. Într-o lună și jumătate, așadar, nova din Perseu — 1901 a trecut prin clasele spectrale F—A, O—B și P. În toamna anului 1901, nova avea mărimea 7, iar apoi s-a transformat într-o nebuloasă planetară.

Este locul să amintim că printre primii observatori din lume ai noiei din Perseu s-a numărat și un român, care a cercetat fenomenul din București. Faptul este cu atît mai semnificativ, dacă menționăm că acel început de secol apucase capitala României încă fără un observator astronomic propriu-zis. Un tinăr, viitor magistrat, pasionat astronom amator — Alexandru Costin (1884—1970) — identificase pe cerul bucureștean nova din Persei la 23 februarie 1901, ora 20^h30^m, cu numai două zile după descoperirea ei de către Anderson la Edinburgh și la două zile înainte ca observatorul din Edinburgh să emită o circulară astronomică oficială privind apariția noului astru pe firmanemt. „Eu am observat-o în constelația Perseu, — povestea Alexandru Costin în 1970, cu ocazia unei conferințe ținută la Astroclubul central Bucu-

rești — și, fiindcă cunoșteam limba latină, la vârsta aceea, de 17 ani, am crezut că-i potrivit să trimit o scrisoare la Paris, la observatorul lui Flammarion, scrisă în latinește. Am procedat ca atare. Flammarion a fost impresionat de lucrul acesta și, în consecință, am fost primit în Societatea Astronomică a Franței, ca membru. Am primit de acolo comunicarea despre admiterea mea, într-o vreme cînd Flammarion era secretar general și marele matematician Henri Poincaré era președinte.¹ Într-adevăr, în Buletinele Societății Astronomice a Franței — volumul anului 1901 — la pagina 158, sînt publicate datele de observație privind nova din Perseu, pe care le-a obținut din București A. Costin, între 23 februarie și 17 martie 1901. Astronomul Em. Touchet, care semnează articolul respectiv, referindu-se la observațiile tînărului astronom-amator român, adaugă: „L'auteur, Roumain, a écrit sa lettre en latin, et nous, l'en félicitons. Voilà la vraie langue universelle“, adică „autorul, român, a redactat scrisoarea sa în latină și noi îl felicităm. Iată adevărata limbă universală...“.

A. Costin a descoperit pe cerul bucureștean nova din Perseu printr-o lunetă simplă de amator, cu diametrul obiectivului de 43 mm (care avea oculare cu puteri de mărire de 25x, 50x și 70x), cu care apoi a efectuat și observațiile ulterioare. Așadar, acesta este exemplu semnificativ: orice tînăr amator, cu o lunetă cît de mică, dar cu suficientă pasiune pentru astronomie, poate realiza — la un moment oportun — observații astronomice dintre cele mai importate pentru știință.

Încheind descrierea faimoasei nove din Perseu, să revenim la caracterizarea novelor în general. La majoritatea novelor

¹ Diploma de membru al Societății Astronomice a Franței, cu semnăturile originale ale lui Henri Poincaré și Camille Flammarion, atribuită lui Alexandru Costin, precum și luneta de 43 mm cu care a urmărit nova Persei — 1901, se află azi la Muzeul Astronomiei Românești, de pe lângă Observatorul Astronomic al municipiului București, de pe Bd. Ana Ipătescu.

s-a putut constata în jurul stelei, îndată după atingerea maximumului, apariția unei nebulozități care se dilată cu o viteză foarte mare. Cauza izbucnirii novelor constă probabil într-o explozie numai la suprafață, altfel steaua nu ar mai reveni atât de repede în stadiul inițial. Se crede că este vorba de o bruscă eliberare de energie atomică din nucleu, care provoacă creșterea temperaturii și dilatarea atmosferei stelare. Straturile interioare exercită presiune asupra celor exterioare, presiune care învinge acțiunea gravitației și provoacă explozii la exterior. În general, s-a stabilit că nebuloasele planetare provin din nove. Spectrul novelor aparține unei clase speciale, notată cu Q și este caracterizat prin intensitatea maximă a spectrului de absorbție în violet și prin intense benzi de emisiune.

Novae recurente. Există unele stele care au trecut de mai multe ori prin faza de nove, la intervale neregulate, de ordinul zecilor de ani. Este cazul, de exemplu, al stelelor T Cronae Borealis și RS Ophiuchi. În timpul maximumului, spectrul lor cuprinde liniile coronare roșii și verzi care apar și în coroana solară.

— *Novae permanente* sunt stele care au în permanență caracteristicile novelor și prezintă din când în când maxime. Expulzarea materiei la aceste stele se produce neîncetat prin curenți continui, care pornesc de pe suprafața stelei.

Dăm în Tabela 3 o listă cu novele mai importante observate între anii 1752 și 1920.

Așezarea novelor în diagrama spectru-luminozitate. Astronomul A. Voronțov-Veliaminov, descoperind unele stele alb-albăstrui care par a fi nove ordinare sau nove recurente, a arătat că ele se așază în diagrama spectru-luminozitate pe o ramură verticală, care ocupă spațiul dintre stelele O și cele de tip Wolf-Rayet (adică tipul W), până în domeniul piticelor albe. Stelele O și Wolf-Rayet sunt nestabile, emițind continuu materie, sub acțiunea presiunii luminii. Se crede că, după un timp, trec în faza de novă, producând erupții, fază ce se repetă. După fiecare explozie, steaua devine mai

densă și mai puțin luminoasă. În faza finală, ea trece în stadiul de pitică albă.

b) *Supernovele* apar rar și în ultimele secole au fost observate în alte galaxii. După curba de lumină și aspectul spectrului lor, supernovele se împart în două tipuri distincte:

— *Supernove de tip I*. După un maximum de mai multe zile care uneori este însoțit de variații mici luminoase, urmează

Tabela 3

Anul	Constelația	Descoperitorul	Strălucirea	
			maximul	minimul
1572	Cassiopeia	Tycho Brahé	—4 ^m	11 ^m
1600	Cygnus	Janson	3,5	5,0
1604	Ophiucus	Altobelli, (Kepler)	—2	13
1670	Vulpecula	Anthelm	3	13
1783	Sagitta	D'Agelet	6	11
1848	Ophiucus	Hind	5,5	12,5
1860	Scorpius	Anwers	7	12
1866	Corona	Birmingham	2	10
1876	Cygnus	Schmidt	3	14
1885	Andromeda	Hartwig	7	14
1891	Auriga	Anderson	4,5	14,5
1893	Norma	Fleming	7	14
1895	Centaurus	Fleming	7	14
1898	Sagittarius	Fleming	4,5	15
1899	Aquila	Fleming	7	13
1901	Perseus	Anderson (A. Costin)	0	13
1903	Gemini	Turner	5	16,5
1905	Sagittarius	Woods	7	14
1910	Ara	Fleming	6	14
1910	Lacerta	Espin	5	14
1912	Gemini	Enebo	3,6	15
1913	Sagitta	Mackie .	7	14
1917	Scorpius	Woods	6,5	14
1918	Monoceros	Wolf	5,5	12
1918	Aquila	Bower	—0,5	9
1919	Lyra	Mackie	6,5	14
1919	Sagittarius	Woods	7	17
1920	Cygnus	Denning	1,5	9

un declin continuu, din ce în ce mai lent, care le păstrează mult timp strălucitoare. Rezultă că energia eliberată este foarte mare. Ea corespunde unei energii a 10 000 nove obișnuite sau a unei energii de 10^{40} ergi. Magnitudinea absolută atinge la maximum, pentru unele, ordinul -18^m . Spectrul se compune întru totul din benzi de emisie intense, considerabil deplasate, datorită unui efect Doppler-Fizeau ce corespunde vitezelor de ordinul a 10 000 km/s. Aceste benzi se suprapun unele peste altele și nu pot fi identificate cu certitudine.

— *Supernovele de tip II*, contrar celor de tipul I, manifestă și o oarecare specificitate în curbele lor de lumină. În afara anumitor accidente în timpul declinului, prezintă o umflătură ce apare aproximativ de trei ori după maxim. Luminozitatea acestor supernove este mai mică decât a celor de tipul I, magnitudinea lor absolută nedepășind valoarea de -13^m . Benzile de emisie din spectru sînt însoțite de cîteva linii de absorbție, care se pot destul de bine identifica și care, fiind deplasate spre violet, ne indică viteza de expansiune de ordinul a 5 000—6 000 km/s. În ansamblu, proprietățile supernovelor de tip II le situează pe acestea ca intermediare între novele ordinare și supernovele de tipul I.

În Galaxia noastră au fost văzute în timpurile istorice doar trei supernove: prima, apărută în anul 1054, s-a transformat treptat în actuala nebuloasă „Crabul” din constelația Taurul, despre care vom mai vorbi în această carte. A doua, observată de Tycho Brahé în constelația Cassiopea, în anul 1572, a atins — după indicațiile marelui astronom — mărimea stelară aparentă $-4^m,0$, fiind vizibilă și în timpul zilei. S-a putut stabili că această supernovă a fost de tipul I. În prezent, în locul ei nu se observă nici o nebuloasă. În 1604 a apărut a treia supernovă, în constelația Ophiucus, fiind observată și de către marele astronom Kepler. Se pare că atât prima cit*și a treia supernovă au fost de tipul II. În alte galaxii se întîlnesc foarte multe supernove. După o statistică a lui F. Zwicky, într-o galaxie apare în medie o supernovă la

un interval de 300—400 ani, ceea ce — astronomic vorbind — este un interval relativ foarte scurt.

c) *Variabile de tip SS Cygni sau U Geminorum*. Aceste variabile, numeroase, reprezintă explozii repetate analoge celor ale novelor, însă cu mult mai puțin intense. Se crede că ele sînt, de fapt, binare semidetășate. Prototipul SS Cygni este la minimum de mărimea 12, pentru ca, după două luni, strălucirea sa să ajungă la mărimea 8 și apoi să revină lent la strălucirea inițială. Pentru SS. Cygni se precizează o perioadă de 50 zile. Viteza de expansiune a gazelor reprezintă la aceste variabile cîtiva km/s. Magnitudinea absolută este la minimum, în jurul a $+10^M$.

d) *Novoidale*. Există un grup de cîteva variabile care se comportă ca și novele din punct de vedere spectral și din acest motiv se numesc novoidale. Prototipul lor este steaua Z Andromedae, ea oscilînd slab în jurul valorii de 11,5 magnitudini. Spectrul le situează în clasa M.

e) *Variabile de tipul VV Ceti*. În general, aceste variabile se mențin în minimum, însă din cînd în cînd se pare că au loc explozii, care nu durează însă mai mult de 2—3 ore.

f) *Variabile de tip RW Aurigae*. Se mai numesc de tip RR Tauri sau T Tauri. Unele, ca RW Aurigae, sînt binare vizuale. Ele se întîlnesc în apropierea norilor obscuri din Calea Lactee. Variația luminoasă, rară, are amplitudini mari.

g) *Variabile nebulare*. Sînt cele de tip T Orionis și se găsesc în marea nebuloasă din Orion. Ele însoțesc nebuloasele obscure și variația strălucirii lor se explică prin acoperirea temporară a lor de către materia nebulară.

h) *Variabile de tip R Coronae Borealis*. Ele prezintă variații de strălucire îndelungi. Steaua R Coronae Borealis a fost de mărimea 6 din decembrie 1925 pînă în octombrie 1934, ca apoi strălucirea să scadă brusc.

În general, cauza variației tuturor acestor tipuri încă nu este bine cunoscută. Astăzi se fac cercetări intense pentru studiul lor.

Am trecut astfel pe scurt în revistă principalele tipuri de stele variabile, cu caracteristicile respective.

Importanța stelelor variabile pentru studiul Universului
Variabilele cu eclipsă ne dau anumite elemente în cunoașterea stelelor duble; cefeidele au avut de asemenea un rol hotărâtor în problema determinării multor distanțe cerești. În galaxiile extrem de depărtate, apariția unei nove sau supernove permite să se calculeze distanța acesteia cu ajutorul relației (9), știind că novele și supernovele ating în medie la maximum, magnitudini absolute mari; pentru nove $M = -6^M$, iar pentru supernove $M = -15^M$. Determinându-se fotometric magnitudinile aparente m , se poate deduce valoarea lui p'' , și astfel se evaluează distanța la acest îndepărtate corpuri cerești. Și în viitor se pare că stelele variabile vor aduce multe servicii astronomiei! De aceea, este indicat să le urmărească și astronomii-amatori.

3. Evoluții stelare

Se cunosc astăzi destul de bine — datorită astrofizicii — legile generale de evoluție a stelelor. În lumea stelelor există însă diferite căi evolutive. Nu toate stelele evoluează în același fel. Așa, de pildă, Soarele este o stea cu o evoluție normală (un tip evolutiv normal), în vreme ce novele, după cum am văzut, sînt stele de tip exploziv. În urma exploziei lor, elimină în scurt timp o mare cantitate de materie, care se răspindește rapid în spațiul înconjurător, formînd o nebuloasă. Soarele însă, cel puțin încă vreo cinci miliarde de ani de acum înainte, se va menține în linii generale la fel ca azi, dînd aceeași lumină și căldură, întreținînd deci viața pe Pămînt; apoi, după scurgerea celor circa cinci miliarde ani, după mai multe dilatări și contracții succesive — încercînd parcă ultimele eforturi de a se menține — va deveni probabil o pitică albă, extrem de densă și cu o temperatură foarte ridicată. Viitorul stelelor pitice albe încă nu este pe deplin lămurit.

În orice caz, în prezent, faza de pitică albă se consideră a fi una dintre ultimele stadii de existență (ca stea) a unei stele normale. Așadar, piticele albe sînt stele în vîrstă. De fapt, vorbind despre stelele pitice (care uneori au dimensiuni mai mici chiar decît Pămîntul), trebuie să ne amintim și de stelele gigante. Acestea au materia relativ rarefiată și în general sînt stele tinere, în vreme ce piticele au densitate ridicată (uneori foarte mare după cum am mai arătat) și sînt stele relativ în vîrstă. Existența stelelor gigante luminoase și gigante roșii, a stelelor pitice (normale, roșii și albe), evidențiate în diagrama H-R, despre care am vorbit anterior, a fost confirmată și prin studiul stelelor duble vizual, a stelelor duble spectroscopice și a stelelor duble fotometric, care dau astronomilor posibilități reale de determinare cu precizie a razelor (diametrelor) și maselor stelare. Urmărind diagrama spectru-luminositate (adică diagrama H-R), se poate observa cum de la stele extrem de mari, reci și rarefiate, se trece la stele din ce în ce mai fierbinți, însă cu dimensiuni mai reduse. Complexa problemă a originii și evoluției stelelor nu s-ar fi putut cerceta fără rezultatele date de diagrama H-R.

Tipul evolutiv al unei stele se poate stabili azi de către astrofizică dacă se cunosc două caracteristici fundamentale: masa stelei și compoziția ei chimică. Una dintre problemele actuale este cercetarea stelelor de tip exploziv, care după cum se crede, prezintă un fenomen deosebit, al așa-numitei „prăbușiri gravitaționale”. S-a stabilit pe cale teoretică că, dacă masa inițială a unei stele depășește valoarea de 1,44 mase solare, atunci acea stea nu mai este de tip evolutiv normal, ci de un tip exploziv. În rîndul acestor aștri se numără supernovele, care își sfîrșesc viața printr-o explozie catastrofală. Forța gravitației lor fiind prea mare pentru a echilibra presiunea de radiație interioară, în interior are loc o creștere continuă a temperaturii necesară echilibrării gravitației. Steaua trăiește astfel faze succesive, consumînd hidrogen pentru a se forma heliu, apoi heliu pentru ca să se formeze carbon, carbon pentru ca să se formeze oxigen, neon și mag-

neziu, magneziu pentru ca să se formeze sulf și sulf ca să se formeze fier. Duratele diferă de la 10 miliarde de ani în etapa de la hidrogen la heliu și numai un an în etapa de la sulf la fier. La sfârșitul fiecărei etape are loc o puternică prăbușire gravitațională (spre centrul steii), steaua micșorându-și simțitor volumul. Energia contracției însă ridică temperatura nucleului astfel ca să fie posibilă desfășurarea etapei următoare. După consumarea acestor etape, temperatura nucleului atinge valoarea de 6 miliarde de grade. Materia nucleului degenerază în așa măsură încît devine o masă de neutroni de aici și numele de „stea neutronică“, despre care vom mai vorbi. Ea reprezintă de fapt — în concepția actuală — un ansamblu de reziduuri rămase în urma ultimei explozii catastrofale din seria prăbușirilor de mai sus. Teoria astrofizică a stelelor neutronice, esențială în explicarea exploziilor de supernove, este azi foarte mult dezbătută și se pare că explică în mod satisfăcător fenomenele observate. Deoarece, conform teoriei, o stea neutronică emite mai ales în domeniul radiațiilor X, recente descoperiri a surselor de raze X în Univers, prin aparate speciale montate pe rachete și sateliți artificiali — de care ne vom mai ocupa — confirmă, se pare, existența reală a stelelor neutronice, care pînă acum erau postulate numai teoretic. La acestea se adaugă și fenomenul „pulsarilor“, despre care, de asemenea, vom mai avea ocazia să vorbim. Ne mulțumim aici doar să spunem că pulsarii sînt considerați a fi stele neutronice în rotație. Din punct de vedere observațional, pulsarii sînt niște „radiostele variabile“, cu o extrem de scurtă perioadă. După cum se observă din tabelul primilor pulsari descoperiți, pe care îl reproducem, cea mai scurtă perioadă — revenind pulsarului NP 0532 — este de 0^s.033 și cea mai lungă perioadă de pulsație a fost înregistrată la pulsarul NP 0527, ca fiind de 3,74 secunde. *Piticele albe și pulsarii*, la care probabil trebuie adăugate și obiectele denumite *black holes* („găuri negre“), par să fie *corpurile cerești care încheie procesul evolutiv al materiei stelare*. Primele caracterizează ultimul stadiu de evoluție a unei

stele cu masă inițială nu prea mare (cel mult 1,44 mase solare), în vreme ce pulsarii — în ipoteza că sînt stele neutronice — exprimă acordul final al unei mase stelare mai mari. Apoi, după cum vom vedea într-un paragraf special, starea finală unică cea mai generală a fenomenului de prăbușire gravitațională — care corespunde unei mase inițiale de minimum 3 mase solare — corespunde unor black holes de un tip special denumit Kerr-Newman.

Am început, de fapt, cu... sfîrșitul! Nu întîmplător, ci pentru a ne convinge cu certitudine de rolul deosebit pe care îl joacă *masa inițială a unei stele* în evoluția vieții sale. Avem așadar un „jalon“ sigur atunci cînd ne întrebăm: cum

Tabela 4

Pulsarul	Perioada în secunde	Pulsarul	Perioada în secunde
NP 0532	0,08809114*	MP 1747	0,742
PSR O 833-45	0,089	MP 0835	0,764
PSR 1929+10	0,227	MP 1426	0,788
MP 1451	0,248	MP 1727	0,886
CP 0950	0,2530650372	PP 0943	1,09
JP 1933+16	0,359	CP 1133	1,1879109795
MP 0736	0,375	MP 0628	1,24
AP 0823+26	0,530	CP 0834	1,2737631515
PSR 2218+47	0,538	CP 0808	1,29
AP 2015+28	0,558	CP 1919	1,337301109
PSR 1743-28	0,562	MP 0950	1,44
MP 0940	0,662	PSR 0904 77	1,58
GP 0328	0,718	PSR 2045-16	1,96
HP 1507	0,739	NP 0527	3,74

* Pentru un număr de 5 pulsari semnificativi am dat perioada exactă, restul fiind numai cu 3 sau 2 zecimale.

mor stelele? „Jalonul“ este valoarea de 1,44 mase solare a masei inițiale a stelei, valoare care, în limbajul de specialitate, se numește „limita lui Chandrasekhar“. Stelelor le va fi deci

„scris“ încă de la naștere cum vor muri: dacă nebuloasa-mamă din care se nasc nu le va asigura decît mase inferioare limitei Chandrasekhar, atunci ele vor muri „liniștit“, sub forma unor pitice albe. În schimb, dacă „pruncul“ stelar, la naștere, va depăși o „greutate“ de 1,44 mase solare, „horoscopul“ său va arăta cu siguranță o moarte explozivă, însoțită de nașterea unei nebuloase planetare, iar „rămășițele“ ei — o stea neutronică — se va manifesta sub forma unui pulsar. Un al treilea caz ar fi o altă limită: 3 mase solare! Stelele mai masive ca 3 mase solare sfîrșesc printr-un... „black hole“.

Am vorbit pînă acum numai de momentul „nașterii“ și, mai ales, al „morții“ stelelor. Dar celelalte „momente“ ale vieții lor?

Cînd ne-am referit la diagrama H-R, nu am făcut vreo distincție referitoare la vîrsta stelelor. Pentru a se vedea însă cum evoluează stelele în afara „limitelor“ despre care am vorbit — nașterea și moartea — a fost necesar să se construiască diagrame H-R cu stele de *aceeași vîrstă*. Or, s-a plecat de la ideea că o stea dublă, de pildă, are componentele aproximativ cu aceeași durată a vieții. Lucrurile se complică însă dacă vom observa că există stele duble ale căror componente sînt diferite ca tip stelar. De pildă, dacă vom îndrepta o lunetă modestă, de amator, spre cunoscuta stea β Cygni (adică Beta din constelația Lebedă) sau, pe numele ei arab, Albireo, vom recunoaște imediat că cele două componente au culori diferite: portocaliu și albastru. Astfel de cupluri fizice, cu stele de tip spectral diferit, sînt multe și — pentru a satisface interesul amatorilor — dăm mai jos un tabel cu cîteva dintre cele mai frumoase „briliante“ duble și triple ale cerului.

Cum se explică oare că, deși acestea au în cadrul cuplului lor aproximativ aceeași vîrstă, sînt totuși atît de diferite? Să ne imaginăm doi copii gemeni. La o vîrstă oarecare — aceeași pentru amîndoi — ei pot să arate diferit unul față de altul; condițiile pe care le-a avut fiecare dintre ei — atît la naștere, cit și pînă la vîrsta respectivă — fiind inegale, au „evoluat“ pe căi diferite și astfel, deși de aceeași vîrstă, unul

dintre ei arată mai „îmbătrinit“ decît celălalt. Tot așa se explică diferențierile din cadrul unui cuplu de două sau mai multe stele care, deși s-au născut din aceeași nebuloasă și au aceeași vîrstă, sînt totuși de tipuri spectrale diferite. Rezultă că dacă în diagrama H-R se vor așeza stele de aceeași vîrstă, datorită tipului lor de evoluție diferit, diagrama respectivă ne va putea informa asupra acestui lucru. Atenția s-a concentrat mai ales asupra roiurilor stelare. Stelele din aceste roiuri pot fi considerate ca avînd aceeași vîrstă. Mai mult! Cele două tipuri distincte de roiuri stelare existente în Galaxie

Tabela 5

Nr. Priviți prin luneta de crt. amator steaua:	Prin lunetă steaua se vede ca:	Culorile componentelor în ordinea strălucirii lor
1 Beta din constelația Lebedă	dublă	Portocaliu și albastru
2 Eta din constelația Perseu	dublă	roșu și albastru
3 Alfa din constelația Cîinii de vînătoare	dublă	galben și albastru
4 Beta din constelația Scorpionul	dublă	verde deschis și albastru
5 Gama din constelația Delfinul	dublă	galben și verde închis
6 Gama din constelația Andromeda	triplă	roșu, verde și albastru
7 Beta din constelația Orion	dublă	alb și albastru
8 Iota din constelația Cassiopeia	triplă	galben, roșu și verde
9 Alfa din constelația Hercule	dublă	roșu și verde
10 Epsilon din constelația Boarul	dublă	galben și albastru
11 Alfa din constelația Scorpionul	dublă	roșu și verde
12 Xi din constelația Boarul	dublă	portocaliu și roșu

— roiurile deschise și roiurile globulare — sînt un fel de extreme, în privința vîrstei lor, deoarece primele conțin stele tinere, abia formate, în vreme ce ultimele sînt, după toate probabilitățile, de aceeași „seamă” cu însăși Galaxia. Dintr-o serie întreagă de diagrame, trasate pentru diferite vîrste galactice, a reieșit clar un număr de cinci „populații” stelare existente în Galaxie, pe care le prezentăm în Tabela 6. Cu alte cuvinte, Galaxia este formată din cinci mari „generații” de materie stelară și materie difuză, începînd cu „generația strănepoților” — cea mai tinăra în Galaxie — și sfîrșind cu „generația străbunicilor” galactici.

Este dificil aici să dezbatem pe larg toate căile de evoluție ale diverselor stele. Cititorul poate consulta, în această privință, bibliografia anexă, dar în lumina limitei lui Chandrasekhar este evident faptul că există cel puțin două tipuri de evoluție distincte ale materiei stelare. Ne vom ocupa, pe scurt, doar de cazul evoluției unei stele ca Soarele. O simplă curbă, fără simetrie, în cadrul diagramei H-R, înfățișează de fapt... trecutul, prezentul și viitorul Soarelui! Așadar, Soarele se află actualmente — pe diagrama H-R — în secvența principală. După toate probabilitățile, încă vreo 5 miliarde de ani (deci aproximativ de cît timp există el!) Soarele va evolua lent de-a lungul secvenței principale și deci, în acest interval — nouă pămîntenilor — astrul zilei nu ne va pune probleme capitale. Dar, odată cu începerea „cotiturii” — cînd astrul zilei va părăsi secvența principală (vezi fig. 44) — situația pentru Terra va deveni defavorabilă. Pot fi apoi citate cîteva „poziții” principale. Ajuns pe diagrama H-R în punctul A, Soarele va fi de aproximativ trei ori mai luminos decît în prezent; temperatura medie pe Pămînt va fi aproape de punctul de fierbere al apei, deci viața de tip actual pe Terra (viața compușilor carbonului) n-ar mai putea rezista. Evident că, pentru mințile care au în vedere seminția umană peste 5 miliarde de ani, se pot întrezări soluții de supraviețuire a civilizației noastre. Cel puțin două: a) Modificarea orbitei te-

Tabela 6

Denumirea populației stelare	Stele care intră în compoziția populației date	Conținutul tuturor elementelor în afară de hidrogen și heliu, după numărul de atomi
Populație extremă de tipul I	Stele O, B. Roiuri galactice foarte tinere, asociații, praf cosmic, hidrogen neutru interstelar	4%
Populație de tipul I	Stele obișnuite de clase spectrale de la A la F. Roiuri galactice Suprauriae roșii	3%
Populație bătrână de tipul I	Stelele secvenței principale și uriașe de clase spectrale de la G la K	2%
Populație de tipul II	Pitice albe, multe clase de stele variabile	1%
Populație extremă de tipul II	Roiuri globulare, subpitice	0,3%

restre (Pământul nu va fi, în acest caz, altceva decât o gigantică navă cosmică naturală încărcată cu miliarde de cosmonauți: oamenii!); b) Părăsirea Pământului „în masă”, spre alte planete, favorabile. Într-un timp cu mult mai îndelungat, decât cel pe care l-a avut la dispoziție Omenirea, de la apariția ei și pînă în prezent, desigur că ambele soluții de mai sus sînt pe deplin realizabile (dacă bineînțeles civilizația terestră va continua să existe încă 5 miliarde de ani, de acum înainte!)

Să urmărim însă mai departe viitorul Soarelui. Ajuns în punctul B, astrul nostru central va fi de nerecunoscut: de 10 ori mai strălucitor ca în prezent! Ușoara scădere a temperaturii sale la suprafață — precursora unor scăderi și mai mari de temperatură — se datorează extraordinarei expansiuni a astrului; în punctul terminus C, cu o temperatură de numai 3500°C la suprafață, Soarele — devenit o stea gigantă — va străluci de 1 000 de ori mai puternic ca azi. Creșterea vertiginosă în volum — el va avea dimensiuni de 200~300 ori mai mari ca dimensiunile actuale! — va face ca planetele Mercur, Venus și, poate, Terra, să fie pur și simplu înghițite... Apoi, din punctul C, în mare viteză, soarta Soarelui se va schimba din nou: volumul îi va scădea, temperatura la suprafață îi va crește. Ajungând în punctul D, va avea 7000°C la suprafață, dar va fi de aproape 100 ori mai luminos ca în prezent — ca apoi, după o perioadă de instabilitate (ce amintește de stelele variabile de tip RR Lyrae!), să devină o... pitică albă.

Nu putem încheia această scurtă trecere în revistă a problemelor ridicate de evoluția materiei stelare (în cadrul ciclului materie difuză —> materie stelară —> materie difuză, după cum vom vedea în paragrafele următoare) fără să ne referim și la cauza intimă care asigură acest proces. Am arătat mai sus că, pentru a cunoaște tipul evolutiv al stelei, se cer două precizări: masa stelei și compoziția ei chimică. Or, aceasta nu înseamnă decât două aspecte fundamentale ale materiei stelare: aspectul *cantitativ* (masa) și aspectul *calitativ* (compoziția chimică)! Despre primul aspect am arătat că el este diferențiat mai ales prin limita lui Chandrasekhar. Al doilea aspect comportă și el o diferențiere, și anume două modalități termonucleare de producere a heliului din hidrogen: ciclul carbon-azot și ciclul proton-proton. Să observăm în tabelul populațiilor stelare, pe care l-am prezentat, că cele mai tinere stele conțin cel mai mare procentaj de elemente grele, în vreme ce obiectele populației străvechi sînt cele mai bogate în hidrogen și heliu. Hidrogenul însă este

„materia primă“ (primară!) a Galaxiei. Rezultă că „tineretul“ galactic actual conține o materie care — pentru a avea cea mai mare cantitate de elemente mai grele decât heliul în ea — a trecut de mai multe ori prin fazele nebulară și stelară. Cum s-a transformat mai departe heliul în elemente grele este o poveste lungă... Ne mărginim numai să amintim transformarea hidrogenului în heliu, posibilă prin două „mecanisme cibernetice“: ciclul carbon-azot (sau carbon-nitrogen) și ciclul proton — proton (vezi pag. 114—115). Ambele asigură radiația stelei, prin eliberare de energie, conform celebrei formule a lui Einstein: $E = mc^2$ în care:

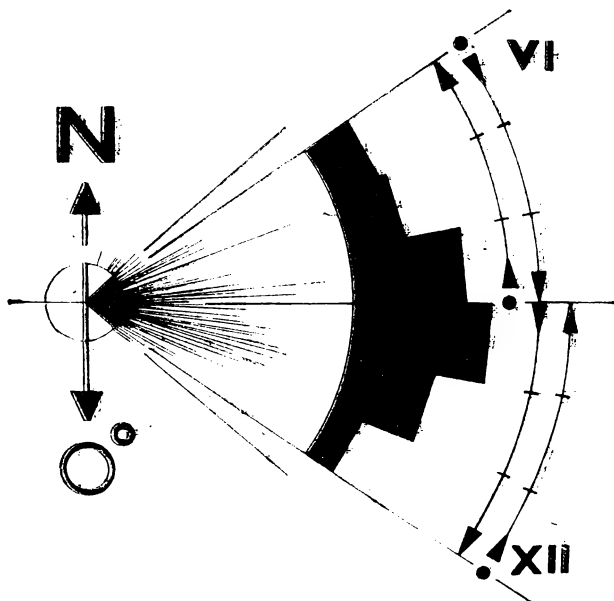
E este energia eliberată;

m este masa consumată; și

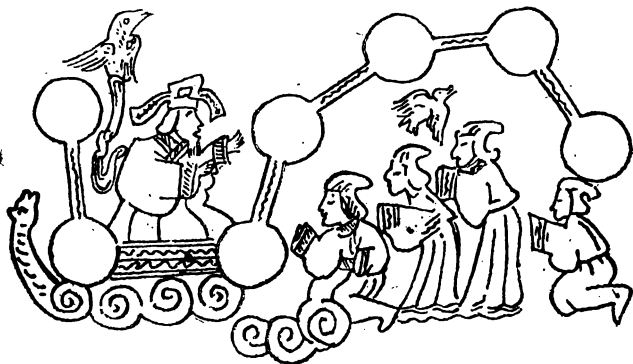
c este o mărime constantă, egală în valoare cu viteza luminii.

Într-un cuvânt, patru atomi de hidrogen intră în reacție termonucleară — cu ajutorul carbonului, acesta având rol de „catalizator“ — și se transformă într-un atom de heliu, cu eliberare de energie care, ulterior, contribuie la radiația stelei respective.

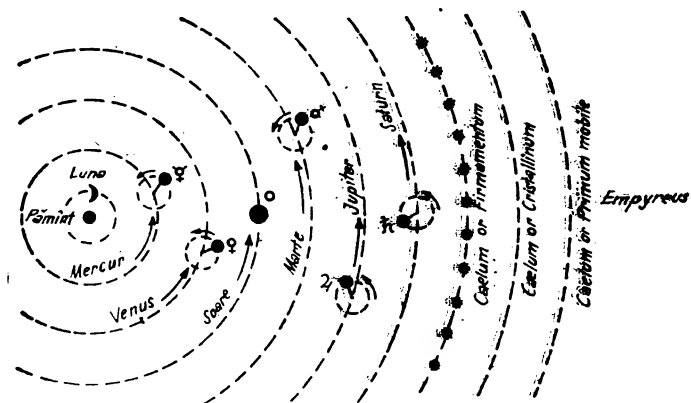
ILUSTRĂȚII



1



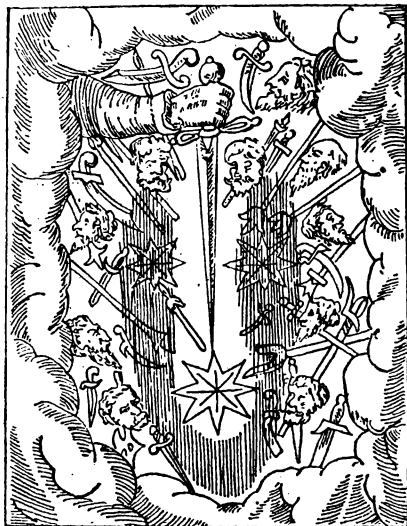
2



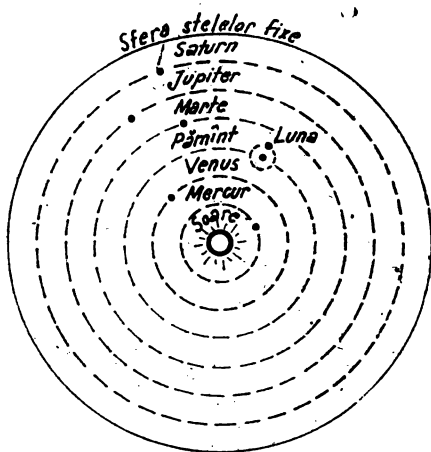
3



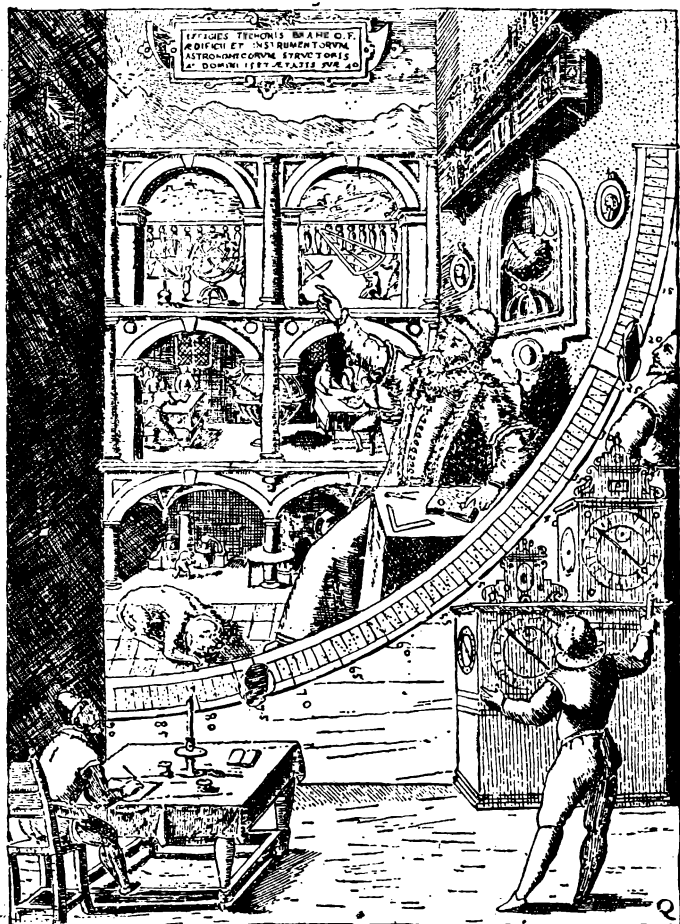
4

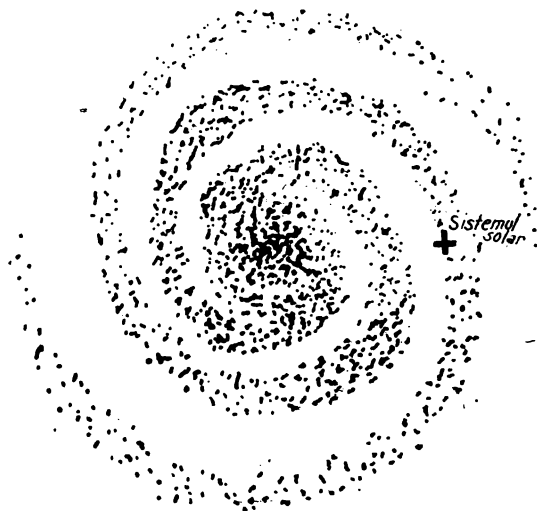


5

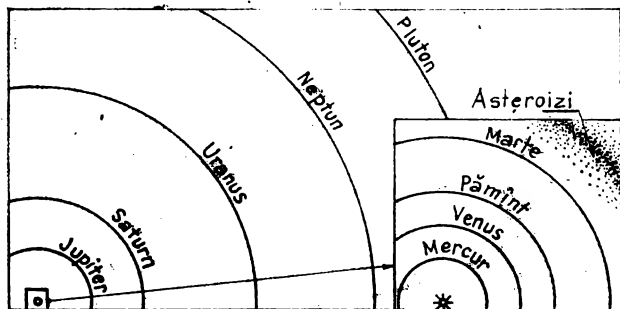


6

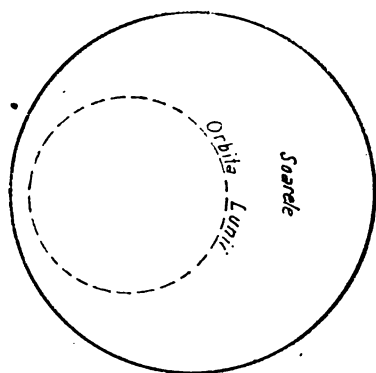




10



11



• Mercur
• Venus
• Pământ
• Marte

○ Jupiter

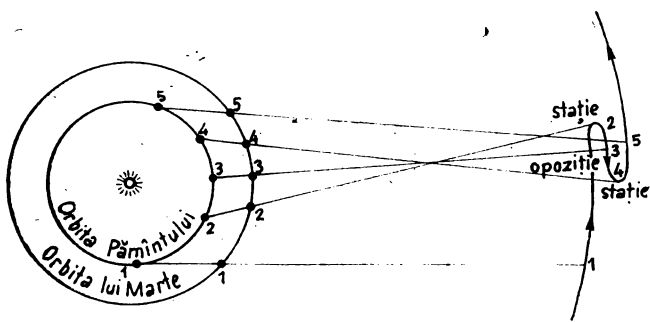
○ Saturn

○ Uranus

○ Neptun

• Pluton

12



13

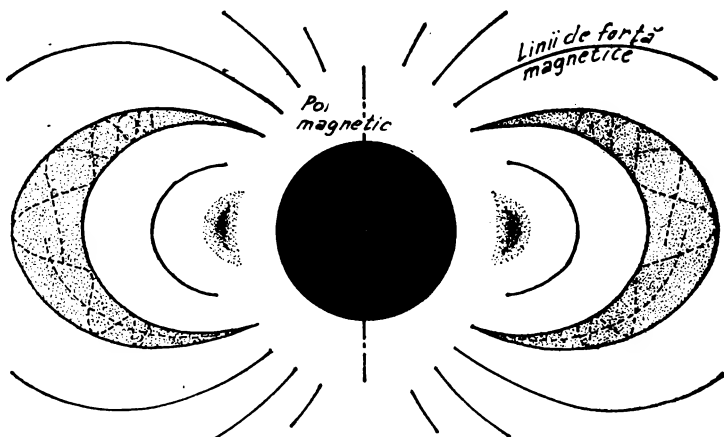
Con de
precesie



SOARE



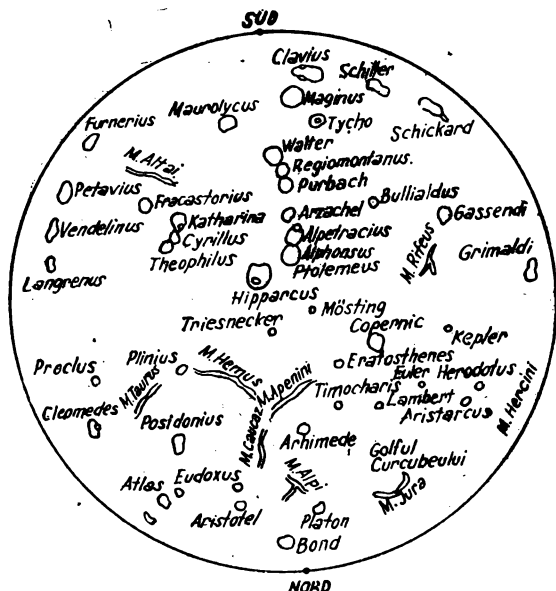
14



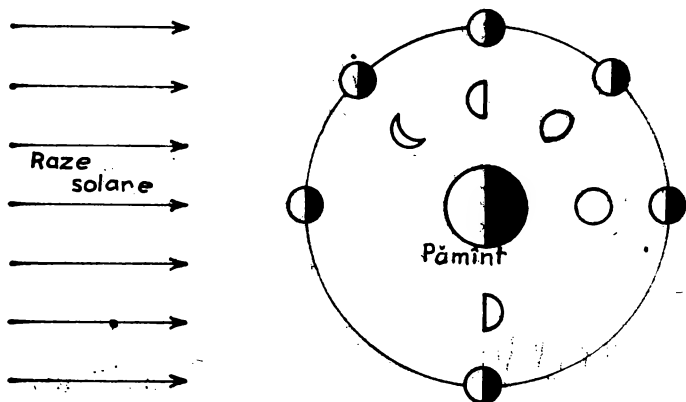
15



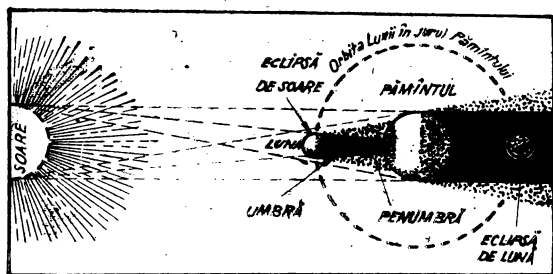
16



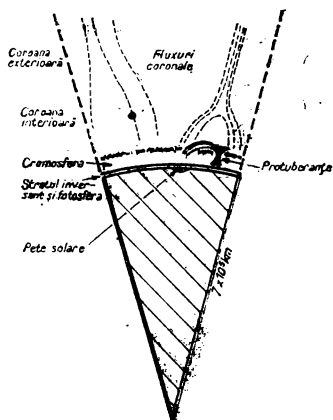
17



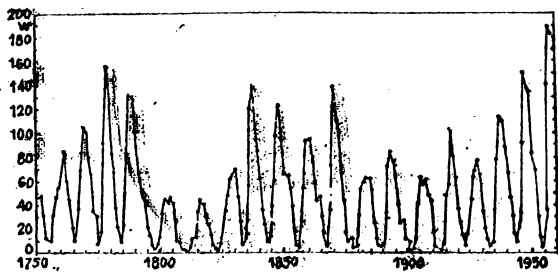
18



19

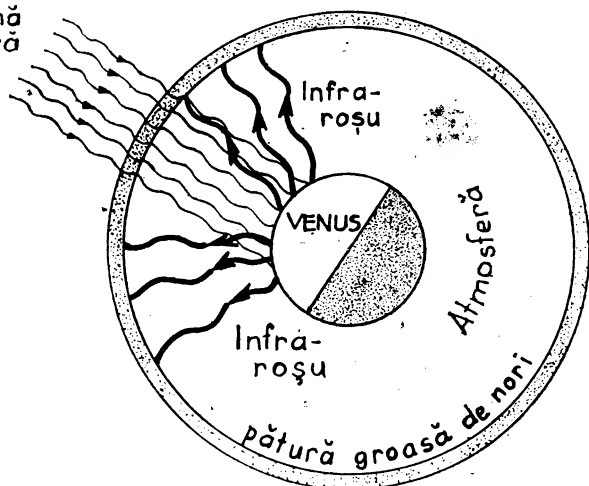


20



21

Lumină
solară



22

SPR

STB

STZ

SEB

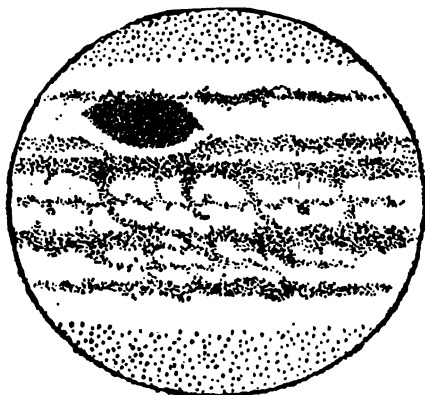
EZ

NEB

NTZ

NTB

NPR

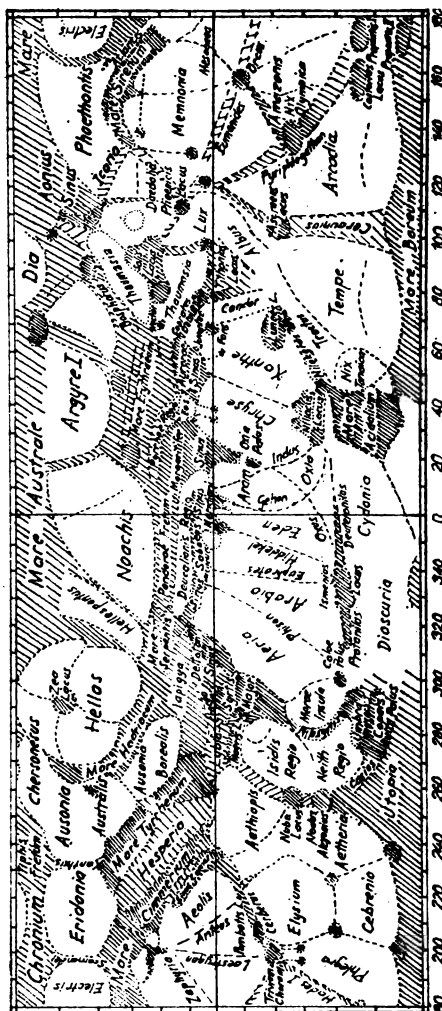


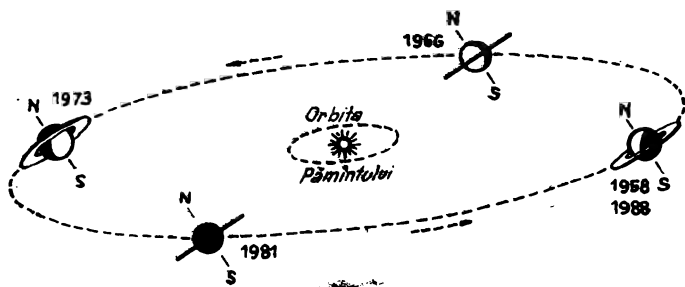
9h 55m, 9

9h 50m, 4

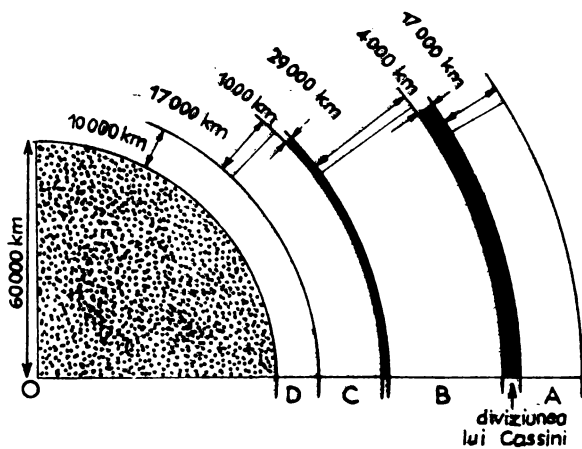
9h 55m, 6

23





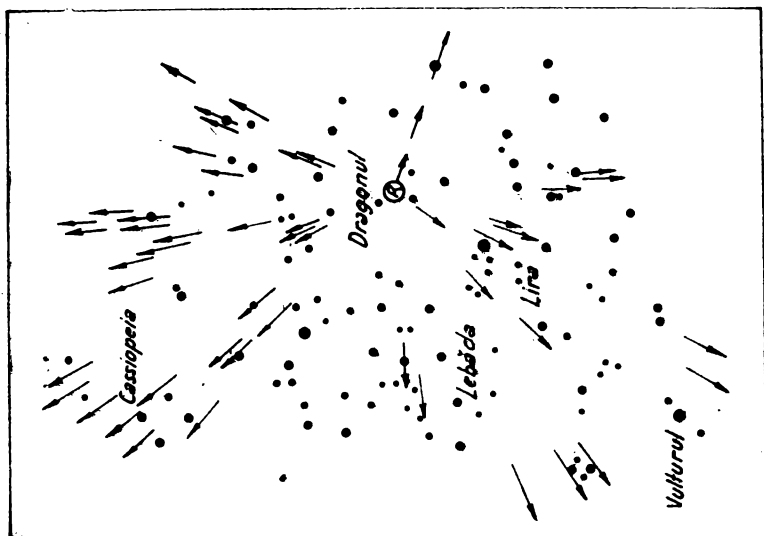
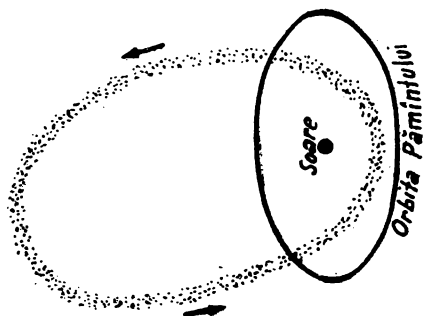
25

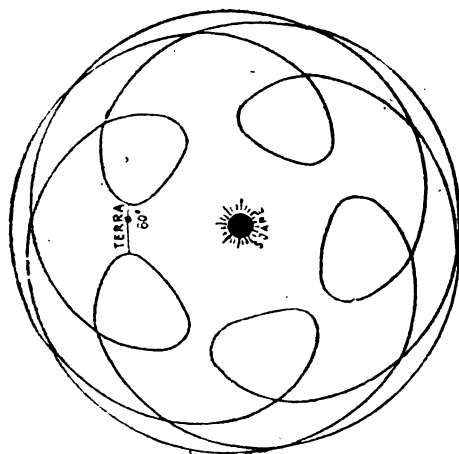
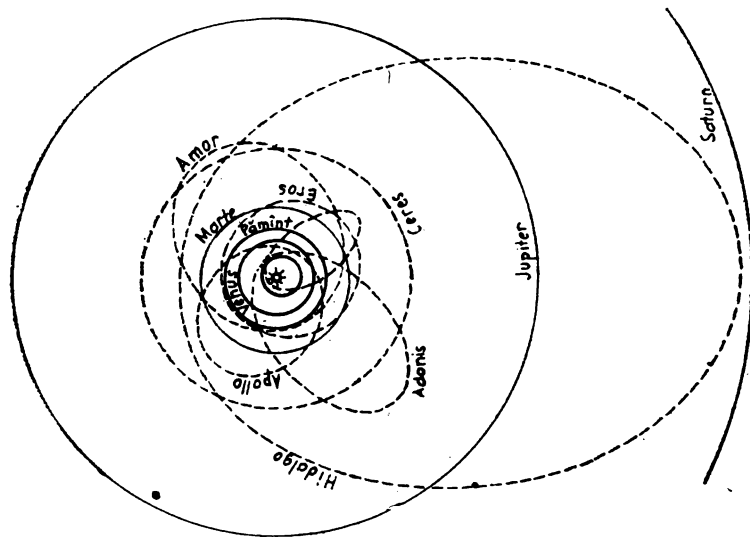


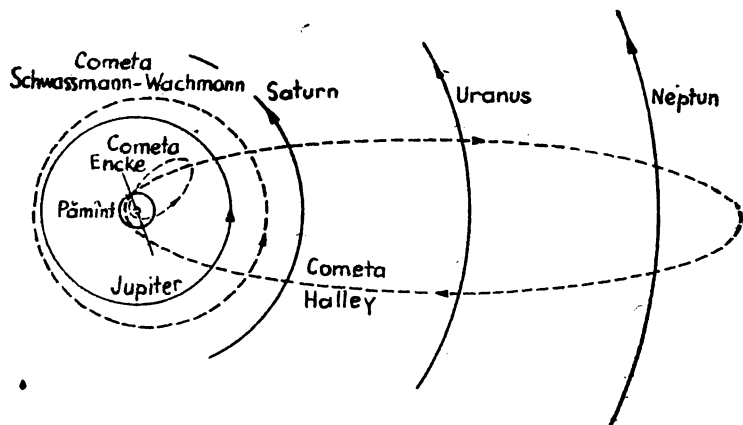
26



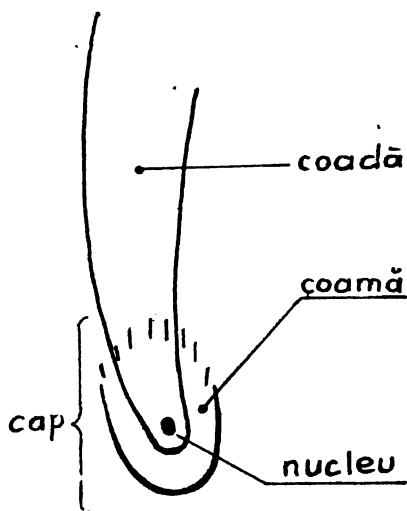
27





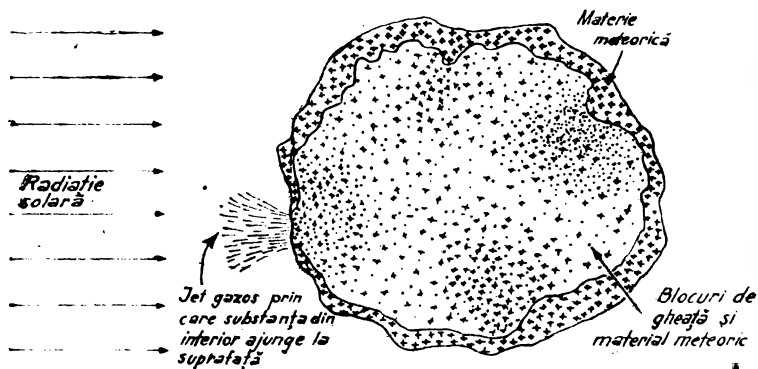


32

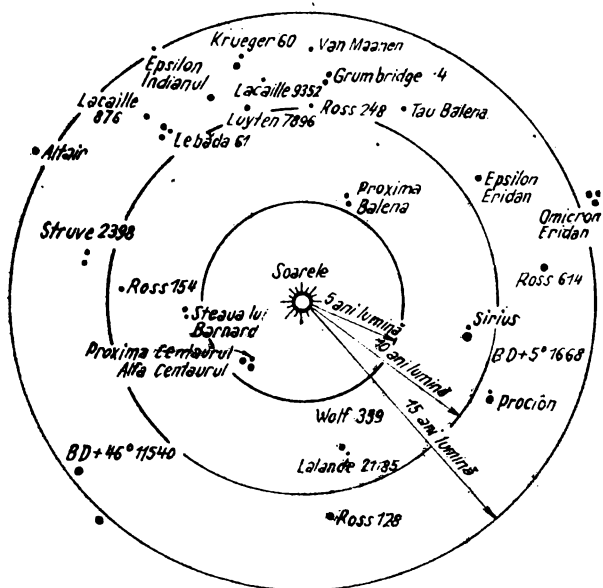


33

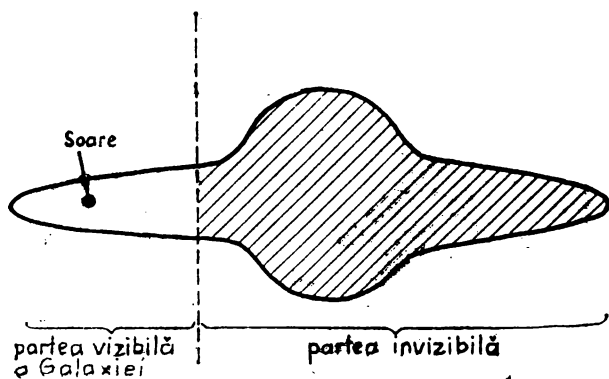
293



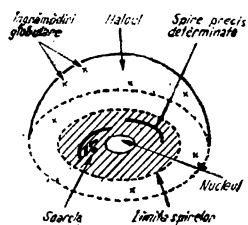
34



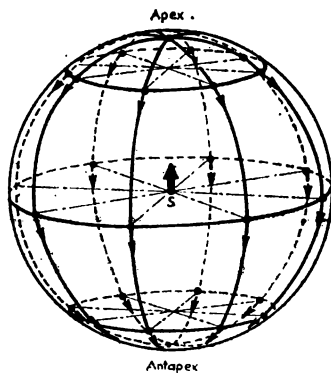
35



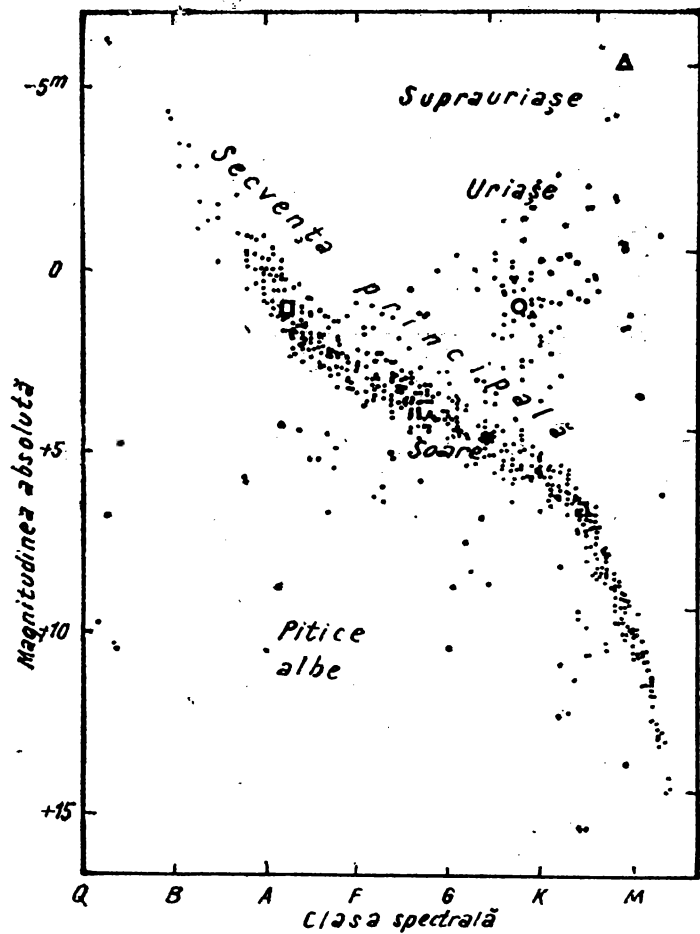
86

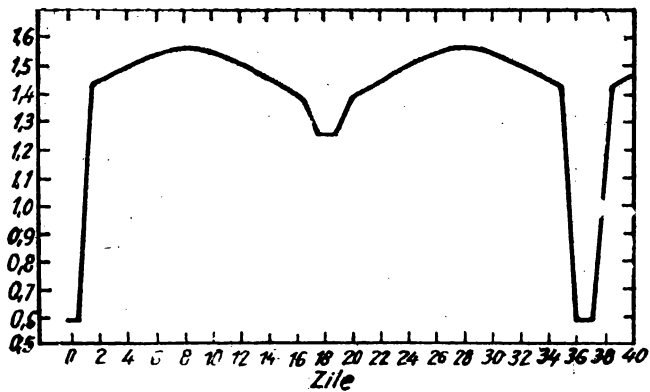


87

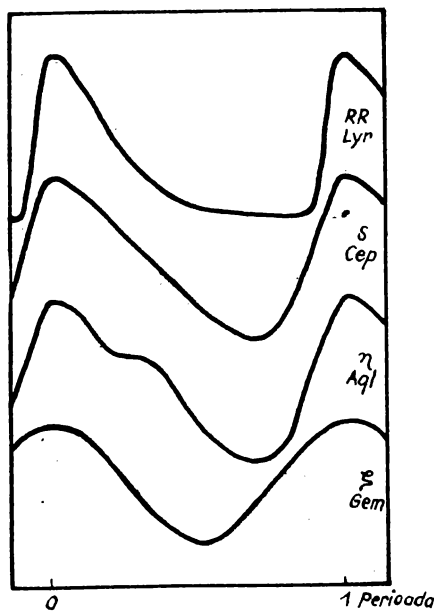


88

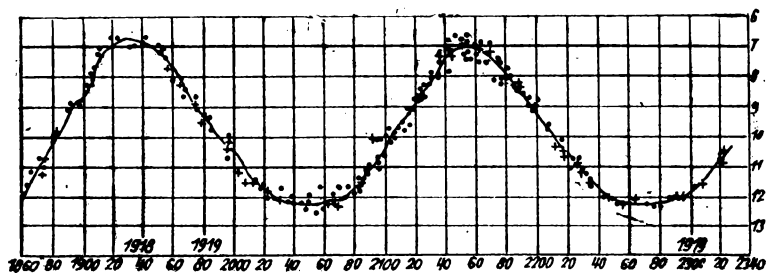




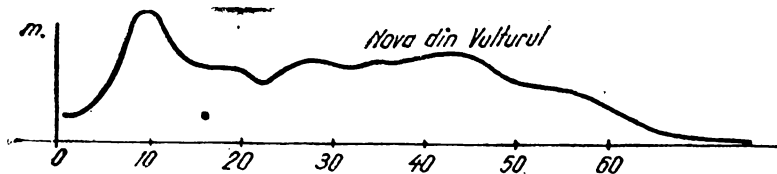
40



41

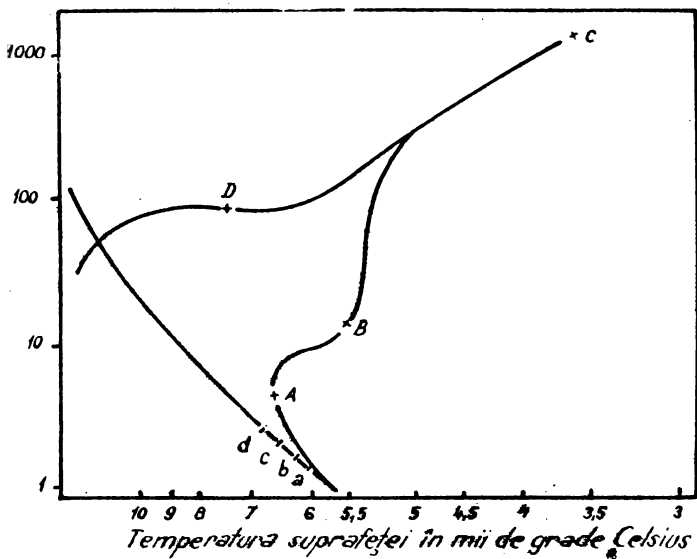


42



43

Emisia de lumină vizibilă raportată
la emisia actuală a Soarelui



TALLA ILUSTRĂȚIILOR

1 Graficul orientărilor după Soare a scheletelor neolitice din necropola de la Cernica (4400—4200 î.e.n.), așa cum a fost prezentat de unul dintre autorii cărții de față la cel de al IX-lea Congres al Uniunii Internaționale de Științe Preistorice și Protoistorice care a avut loc la Nisa (sept. 1976). Referiri și în vol. II din *Ghidul Cosmosului*, la pag. 116-119.

2 Constelația Ursa Mare (Carul Mare), într-o reprezentare chineză

3 Modelul sistemului geocentric la Ptolemeu

4 Imagine a lumii din evul mediu timpuriu

5 O cometă așa cum a schițat-o Ambroise Paré, pradă unei halucinații colective

6 Modelul sistemului heliocentric copernican

7 În observatorul lui Tycho Brahé

8 Uriașul telescop al lui William Herschel

9 Structura spirală a regiunilor centrale ale Galaxiei, pe baza observațiilor radioastronomice. Săgețile indică vitezele radiale observate (după Kerr și Westerhout)

10 Poziția sistemului solar în Galaxie reprezentată schematic (după M. A. Ellison)

11 Orbite comparative ale celor nouă planete

12 Dimensiunile relative ale Soarelui și planetelor

13 Explicația „buclelor” descrise de Marte pe bolta cerească.

14 Precesia echinocțiilor

15 Centurile de radiații din jurul Pământului

16 Schema principalelor mări lunare (emisfera vizibilă de pe Pământ)

17 Schema principalilor munți lunari (emisfera vizibilă de pe Pământ)

- 18 Producerea fazelor Lunii
- 19 Eclipsele de Soare și de Lună
- 20 Secțiune prin Soare (după M. A. Ellison)
- 21 Evoluția numărului petelor solare de-a lungul a două secole
- 22 „Efectul de seră“ presupus a se produce pe planeta Venus
- 23 Pata roșie, benzile și zonele principale ale planetei Jupiter.
- S.P.R. — Regiunea polară Sud; S.T.B. — Banda temperată Sud;
- S.T.Z. — Zona temperată Sud; S.E.B. — Banda tropicală Sud; E.Z. — Zona ecuatorială; N.E.B. — Banda tropicală Nord; N.T.Z. —
- Zona temperată Nord; N.T.B. — Banda temperată Nord; N.P.R. —
- Regiunea polară Nord
- 24 Hartă a planetei Marte, pentru longitudinea centrală de 180°
- 25 Prezentarea variabilă a inelelor lui Saturn
- 26 Inelele lui Saturn (secțiune)
- 27 Înclinarea axei polilor la Jupiter, Saturn și Uranus
- 28 Radiantul curentului meteoric al Draconidelor
- 29 Orbita Pământului și orbita unui curent meteoric
- 30 Orbitele unor asteroizi de mare excentricitate
- 31 Un fenomen puțin obișnuit: orbita asteroidului Toro, într-un sistem centrat față de Soare, care se rotește împreună cu Terra
- 32 Orbitele a trei dintre cele mai cunoscute comete
- 33 Structura unei comete „clasice“
- 34 Modelul nucleului cometar (după L. Whipple)
- 35 Stelele cele mai apropiate de sistemul nostru solar, după o schemă propusă de B. A. Voronțov-Veliâminov
- 36 Zona vizibilă și cea invizibilă (de pe Terra) a Galaxiei
- 37 „Portocală“ galactică secționată
- 38 Apex și antapex
- 39 Diagrama H—R.
- 40 Curbă de lumină a unei stele variabile cu eclipsă
- 41 Curbe de lumină ale unor stele variabile cu scurtă perioadă
- 42 Curbă de lumină a unei stele variabile de tip Mira Ceti
- 43 Nova din Vulturul; curba de lumină
- 44 Evoluția unei stele de tipul Soarelui

S U M A R

I. CHEILE LUMII

1 Imaginea Universului	7
2 Cerul, cea dintâi călăuză.....	8
3 De la mituri la primele viziuni științifice. Edificiul geocentric	13
4 Răsturnarea în concepția despre sistemul solar....	28
5 Descoperirea Galaxiei și redescoperirea sistemului planetar	49
<i>Bibliografie</i>	66

II. COSMOSUL APROPIAT

A. <i>Sistemul planetar în ansamblul său</i>	71
1 Fapte și date.....	71
2 Membrii sistemului solar.....	72
3. Mișcări și orbite.....	81
4 Până unde?	84
B. <i>Planeta Pământ</i>	86
1 Prospectul Terrei.....	86
2 Structura Pământului.....	89
C. <i>Luna, vecina noastră</i>	93
1 Cîteva date fundamentale.....	93
2 Relieful lunar.....	97
3 Mișcările Lunii.....	106
D. <i>Soarele</i>	109
1 Date fundamentale.....	109

2 Structura Soarelui	113
3 Soarele și Pământul	121
E. Planetele	124
1 Mercur	124
2 Venus	127
3 Marte	132
4 Jupiter	139
5 Saturn	144
6—7 Uranus și Neptun	147
8 Pluton	150
F. Sateliții planetelor	153
G. Corpurile meteorice	162
1 Obstacole cosmice	162
2 Universul în laborator	164
3 Spre Pământ	167
4 Curenții meteorici	170
II. Lumea asteroizilor	173
1 Dezlegarea enigmei kepleriene	173
2 Bilanț statistic și influențe	177
3 Unde? Intre Marte și Jupiter!	179
4. Mărimi, forme, culori, orbite	180
5 Câteva traiectorii neobișnuite	185
6 Faeton — legendă și ipoteză	189
I. Cometele	190
1 De la închipuire la adevăr	190
2 Orbitele cometare	193
3 Structura cometelor	194
4 „Nimicuri vizibile“	197
J. Mediul interplanetar și vântul solar	198
Bibliografie	204
III. GALAXIA	
A. Generalități	211
1 Vecinii noștri stelari	211

2	Imaginea generală a Galaxiei.....	218
3	Nucleul galactic și evoluția Galaxiei.....	226
4	Rotația Galaxiei.....	228
B.	Materia stelară	230
1	Stelele „obișnuite“.....	230
2	Stelele variabile.....	244
	I Variabilele cu eclipsă.....	247
	II Variabilele periodice intrinseci	250
	III Variabile neperiodice	261
3	Evoluții stelare	268
	<i>Ilustrații</i>	<i>278</i>
	<i>Tabla ilustrațiilor</i>	<i>300</i>

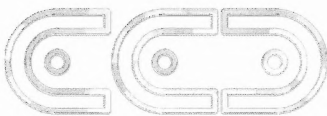
..... Lector : IORDAN DATCU
Tehnoredactor : ELENA CĂLUGĂRU

Bun de tipar 21.I.1980. Coli ed. 14,33. Coli
tipar 9,50.



Comanda nr. 90 433
Combinatul Poligrafic „Casa Scintei”
București — Piața Scintei nr. 1
Republica Socialistă România





Scanare și prelucrare digitală



de

Anonim



și
CAT Graur



Antwerpen
2025

